



TESIS -RC142501

**STUDI PERILAKU PELAT BAJA DINDING GESER
(STEEL PLATE SHEAR WALL) DENGAN VARIASI
PERFORASI AKIBAT BEBAN SIKLIK**

MOCHAMAD RIDWAN
NRP 3113 202 001

DOSEN PEMBIMBING
BUDI SUSWANTO ST.,MT.,Ph.D.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK STRUKTUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2016



TESIS -RC142501

STUDY BEHAVIOURS OF STEEL PLATE SHEAR WALL WITH PERFORATED VARIATIONS UNDER CYCLIC LOADING

MOCHAMAD RIDWAN
NRP 3113 202 001

SUPERVISOR
BUDI SUSWANTO ST.,MT.,Ph.D.

MASTER DEGREE
STRUCTURE ENGINEERING
CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND DESIGN TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2016

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :
Mochamad Ridwan
Nrp:3113202001

Tanggal Ujian : 21 juni 2016

Periode Wisuda : September 2016

Disetujui oleh:



1. Budi Suswanto, ST., MT., Ph.D
NIP: 197301281998021002

(Pembimbing I)



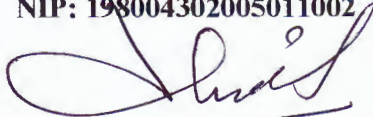
2. Endah Wahyuni ST, M.Sc.
NIP: 197002011995122001

(Pegunji)



3. Data Iranata, ST., M.Sc., Ph.D
NIP: 198004302005011002

(Penguji)



4. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo Masiran, M.S.
NIP: 195503251980031004

(Penguji)



Direktur Program Pascasarjana,


Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D

NIP. 196012021987011001

STUDI PERILAKU PELAT BAJA DINDING GESER (STEEL PLATE SHEAR WALL) DENGAN VARIASI PERFORASI AKIBAT DARI BEBAN SIKLIK

Nama Mahasiswa : Mochamad Ridwan
NRP : 3113 202 001
Dosen Pembimbing : Budi Suswanto, ST, MT, Ph.D.

ABSTRAK

Sebuah dinding geser pelat baja *Steel Plate Shear Wall* (SPSW) adalah struktur yang menahan beban lateral elemen yang terdiri dari tiga komponen, yaitu pelat/panel, balok yang disebut sebagai *horizontal boundary elements* (HBE) dan kolom yang disebut *vertical boundary elements* (VBE). SPSW panel solid membutuhkan kolom dan balok yang besar untuk menahan gaya axial dan momen guling yang terjadi. SPSW dengan perforasi pada plat baja untuk mengurangi kekuatan, memungkinkan penggunaan pelat tebal yang meningkatkan kekakuan dan kapasitas disipasi energi tanpa meningkatkan ukuran dari balok dan kolom. Metode yang akan diambil dalam penempatan lubang pada SPSW adalah *perforations along the plate diagonal*. Pendekatan ini terdiri dari lubang lingkaran, segi empat, segi enam berada pada sepanjang diagonal dari pelat baja.

Selisih hasil antara SPSW solid dan SPSW *perforated* ditinjau dari *load carrying capacity* serta koefisien *disipasi energi* yang tidak begitu signifikan. SPSW solid lebih unggul dalam hal *load carrying capacity* dan *disipasi energi*. SPSW *perforated* mempunyai kelebihan lain dalam hal daktilitas sehingga mampu memertahankan bentuknya selama dibebani siklik

Kata Kunci : Disipasi Energi, Daktilitas, Perforasi, Kapasitas beban, Pelat Baja

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

STUDY BEHAVIOURS OF STEEL PLATE SHEAR WALL WITH PERFORATED VARIATIONS UNDER CYCLIC LOADING

By : Mochamad Ridwan
Student Identity Number : 3113 202 001
Supervisor : Budi Suswanto, ST, MT, Ph.D.

ABSTRACT

A wall of sliding steel plate Shear Wall (SPSW) are structures that resist lateral loads element consists of three components, namely plates / panels, beams are referred to as horizontal boundary elements (HBE) and a column called vertical boudary elements (VBE) , SPSW solid panels require large columns and beams to withstand the axial force and moment bolsters that case. SPSW with perforation of the steel plate to reduce the power, allowing the use of thicker plates that increase stiffness and energy dissipation capacity without increasing the size of beams and columns. The method that will be taken in the placement of holes on SPSW are perforations along the diagonal plate. This approach consists of a hole circles, rectangles, hexagons are on a long diagonal from steel plate.

The difference between the results of SPSW solid and perforated SPSW terms of load carrying capacity and energy dissipation coefficient that is not so significant. SPSW solid superior in terms of load carrying capacity and energy dissipation. SPSW perforated have other advantages in terms of ductility so as to maintain its shape during burdened cyclic.

Keywords: Energy dissipation, Ductility, Perforations, load carrying capacity, Panel

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah SWT, karena atas berkah dan limpahan rahmatnya lah penulis dapat menyelesaikan tesis ini.

Tesis ini adalah sebagai salah satu persyaratan yang harus dikerjakan oleh setiap mahasiswa Teknik Sipil ITS untuk menyelesaikan masa studi tingkat masternya (S-2), tesis ini sudah diseminarkan dalam ujian tesis yang telah dilaksanakan pada 21 juni 2016.

Penulis menyadari bahwa dalam tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu sangat diharapkan kritik atau saran yang bersifat membangun demi semakin sempurnanya tesis ini.

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Budi Suswanto, ST.MT., Ph.d. selaku dosen pembimbing yang telah berkenan meluangkan waktu untuk asisntensi pada laporan tesis ini.
2. Ayah, Ibu dan istri yang telah memberikan dukungan untuk saya dalam menyelesaikan tesis ini.
3. Semua rekan S-2 angkatan 2013 Teknik Sipil FTSP-ITS yang telah menemani mulai awal hingga akhirnya perkuliahan ini.
4. Pemerintah Republik Indonesia melalui DIKTI yang telah memberikan beasiswa Calon dosen.

Surabaya 26 juli 2016

Penulis

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
 BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	01
1.2 Perumusan Masalah	03
1.3 Tujuan Pembahasan	03
1.4 Batasan Masalah	03
1.5 Manfaat.....	04
 BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Umum.....	05
2.2 SPSW Dengan Panel Solid.....	06
2.3 SPSW Spesimen S.....	09
2.4 SPSW Dengan Perforasi Pada Plat.....	10
2.5 SPSW Spesimen P.....	13
 BAB 3 METODOLOGI	
3.1 Flowchart Metodologi.....	17
3.2 Studi Literatur.....	18
3.3 Pemodelan Abaqus 6.10.....	20
3.4 Pembebanan.....	23
3.5 Validasi hasil analisa numerik.....	24
3.6 Analisa perilaku SPSW dengan variasi perforasi.....	24
 BAB 4 PEMODELAN STRUKTUR	
4.1 Profil yang digunakan.....	27

4.2 Model dan Dimensi SPSW.....	28
4.2.A. SPSW Spesimen ST.....	28
4.2.B. SPSW Spesimen SR.....	28
4.2.C. SPSW Spesimen SC.....	29
4.2.D. SPSW Spesimen SQ.....	29
4.2.E. SPSW.Spesimen. SH.....	30
4.2.F. Detail RBF pada HBE SPSW.....	30
4.3. Permodelan Struktur SPSW Pada Program Bantu.....	30
4.3.A. Parts.....	30
4.3.B. Properties Material.....	33
4.3.C. Assembly.....	37
4.3.D. Step.....	39
4.3.E. Interaction.....	42
4.3.F. Load.....	43
4.3.G. Mesh.....	44
4.3.H. Job.....	45
BAB 5 ANALISA HASIL	
5.1. Pengambilan Hasil Analisa dari Abaqus untuk kurva hysteris.....	47
5.2. Validasi Hasil finite element analysis.....	51
5.2.1. Validasi berdasarkan percobaan berman & Bruneau.....	51
5.2.2. Validasi hasil finite element analysis dengan manual.....	52
5.3. Analisa Hasil Finite element analysis	
5.3.1. Perbandingan load-carrying capacity.....	54
5.3.2. Perbandingan economic performance.....	54
5.3.3. Perbandingan failure modes.....	55
5.3.4. Perbandingan disipasi energi.....	65
5.3.5. Perbandingan daktalitas.....	67
BAB 6 KESIMPULAN.....	71
DAFTAR PUSTAKA.....	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Jalur representasi model tegangan bidang SPSW (Berman dan Bruneau, 2005).....	06
Gambar 2.2. Skema representasi model Strip single SPSW (Berman dan Bruneau, 2005).....	08
Gambar 2.3. Model SPSW solid panel (Vian dan Bruneau, 2005).....	09
Gambar 2.4. Hasil kurva Force Vs Displacement (Vian dan Bruneau, 2005).....	09
Gambar 2.5. Model SPSW perforasi circle (Vian dan Bruneau, 2005).....	10
Gambar 2.6. Hasil kurva Force Vs Displacement (Vian dan Bruneau, 2005).....	11
Gambar 2.7. Hasil Kurva Histeris eksperimen Vs pemodelan Abaqus 6. 10 (Vian dan Bruneau, 2005).....	13
Gambar 2.8. Hasil Rendering Abaqus SPSW spesimen P (Koppal, 2012).....	14
Gambar 2.9. Hasil eksperimen SPSW spesimen P (Vian dan Bruneau, 2005).....	14
Gambar 2.10. Hasil Rendering Abaqus kerusakan akhir, SPSW spesimen P (Koppal, 2012).....	15
Gambar 3.1. Flow Chart Metodologi.....	17
Gambar 3.2. Model SPSW perforasi circle LYS	20
Gambar 3.3. Model SPSW panel solid LYS.....	20
Gambar 3.4. Model SPSW perforasi circle.....	21
Gambar 3.5. Model SPSW perforasi panel solid.....	21
Gambar 3.6. Model SPSW perforasi rectangle.....	22
Gambar 3.7. Model SPSW perforasi hexagon.....	22
Gambar 3.8. Detail RBS pada dekat ujung dari HBE.....	22
Gambar 3.9. Grafik pembebanan displacement.....	23

Gambar 3.10. Set Up pembebanan.....	23
Gambar 3.11. Kurva histeris SPSW solid panel dan perforasi circle (Vian dan Bruneau, 2005).....	24
Gambar 4.1 SPSW Solid (LYS) tanpa RBS.....	28
Gambar 4.2 SPSW solid (LYS) dengan RBS.....	28
Gambar 4.3.SPSW Perforasi Circle (LYS) dengan RBS.....	29
Gambar 4.4 SPSW Perforasi Rectangle (LYS) dengan RBS.....	29
Gambar.4.5.SPSW Perforasi Hexagon (LYS) dengan RBS.....	30
Gambar 4.6 Detail RBS pada HBE SPSW	30
Gambar 4.7. Permodelan HBE WF 466.192.11.20.....	31
Gambar 4.8 Permodelan VBE WF 470.194.12.20.....	31
Gambar.4.9.Permodelan plat dengan perforasi.....	32
Gambar.4.10 Permodelan stiffener.....	32
Gambar 4.11 Permodelan panel Zone.....	33
Gambar 4.12 Grafik Stress-strain.....	34
Gambar 4.13 Input Density dan elastic.....	34
Gambar 4.14 Input Plastic A572	35
Gambar 4.15 Input Density dan Elastic	35
Gambar 4.16 Input Plastic LYS.....	36
Gambar 4.17 Section manager.....	36
Gambar 4.18 Section Assignment Manager.....	37
Gambar 4.19 Assembly SPSW solid tanpa RBS.....	37
Gambar 4.20 Assembly SPSW solid RBS.....	38
Gambar 4.21. Assembly SPSW perforasi circle dengan RBS.....	38
Gambar 4.22 Assembly SPSW perforasi Rectanguler.....	39
Gambar 4.23. <i>Assembly SPSW perforasi hexagon</i> dengan RBS.....	39
Gambar 4.24. <i>Grafik Loading Protocol</i>	40
Gambar 4.25. <i>Grafik Amplitudo</i> 3 siklik per step.....	41
Gambar 4.26. <i>Grafik Amplitudo</i> 2 siklik per step.....	42
Gambar 4.27. <i>Input step</i> pada Abaqus.....	42
Gambar 4.28. <i>Create Constraint</i> pada Abaqus.....	42
Gambar 4.29. <i>Edit Constraint</i> pada Abaqus.....	43

Gambar 4.30. <i>Create Initial</i> pada Abaqus.....	43
Gambar 4.31. <i>Create displacement step 7</i> pada abaqus.....	44
Gambar 4.32. <i>Seed Part Instance global seeds</i> dengan <i>size 50</i>	44
Gambar 4.33. <i>Mesh Control</i> dengan <i>Hex,Sweep advancing front</i>	45
Gambar 4.34. <i>Job manager, Create Job</i>	45
Gambar 4.35. <i>Job manager, edit Job</i>	46
Gambar 5.1 Posisi pengambilan data geser pada perletakan.....	47
Gambar 5.2 <i>XY data from ODB field output</i>	48
Gambar 5.3 Solid Tanpa RBS (ST) <i>Hysteresis Curves</i>	48
Gambar 5.4 Solid dengan RBS (SR) <i>Hysteresis Curves</i>	49
Gambar 5.5 <i>Perforated Circle (SC) Hysteresis Curve</i>	49
Gambar 5.6 <i>Perforated Rectangle panel (SQ) Hysteresis Curves</i>	50
Gambar 5.7 <i>Perforated Hexagon panel (SH) Hysteresis Curves</i>	50
Gambar 5.8 <i>Hysteresis Curves Finite Element Analysis vs Percobaan specimen (SR)</i>	51
Gambar 5.9 <i>Hysteresis Curves Finite Element Analysis vs Percobaan specimen (SC)</i>	52
Gambar 5.10 Step 1 <i>kontur tegangan S 23 (geser)</i>	55
Gambar 5.11 Step 1 <i>kontur tegangan S mises</i>	56
Gambar 5.12 Step 2 <i>kontur tegangan S 23 (geser)</i>	56
Gambar 5.13 Step 2 <i>kontur tegangan S mises</i>	57
Gambar 5.14 Step 3 <i>kontur tegangan S 23 (geser)</i>	58
Gambar 5.15 Step 3 <i>kontur tegangan S mises</i>	58
Gambar 5.16 Step 4 <i>kontur tegangan S 23 (geser)</i>	59
Gambar 5.17 Step 4 <i>kontur tegangan S mises</i>	59
Gambar 5.18 Step 5 <i>kontur tegangan S 23 (geser)</i>	60
Gambar 5.19 Step 5 <i>kontur tegangan S mises</i>	60
Gambar 5.20 Step 6 <i>kontur tegangan S 23 (geser)</i>	61
Gambar 5.21 Step 6 <i>kontur tegangan S mises</i>	61
Gambar 5.22 Step 7 <i>kontur tegangan S 23 (geser)</i>	62
Gambar 5.23 Step 7 <i>kontur tegangan S mises</i>	62
Gambar 5.24 Spesimen SR Step 2 <i>kontur tegangan S 23 (geser)</i>	63

Gambar 5.25 Spesimen SR Step 2 <i>kontur tegangan S 23 (geser)</i>	63
Gambar 5.26 Spesimen SC Step 1 <i>kontur tegangan S 23 (geser)</i>	64
Gambar 5.27 Spesimen SQ Step 1 <i>kontur tegangan S 23 (geser)</i>	64
Gambar 5.28 Spesimen SH Step 1 <i>kontur tegangan S 23 (geser)</i>	65
Gambar 5.29 Spesimen SH Step 1 <i>kontur tegangan S 23 (geser)</i>	65
Gambar 5.30 Gambar Perhitungan Koefisien disipasi energi.....	66
Gambar 5.31 Gambar elemen yang diambil nilai tegangan regangan tipe solid	67
Gambar 5.32 Gambar elemen yang diambil nilai tegangan regangan tipe perforasi.....	67
Gambar 5.33 Grafik tegangan regangan SPSW solid.....	68
Gambar 5.34 Grafik tegangan regangan untuk SPSW perforasi.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Parameter Spesimen Material Modeling.....	19
Tabel 3.2. Dimensi Spesimen SPSW.....	19
Tabel 4.1 Parameter Spesimen Material Modeling.....	27
Tabel 4.2 Dimensi Perforasi pada SPSW.....	27
Tabel 4.3 Profil-profil SPSW.....	28
Tabel 4.4 Nilai <i>Displacement</i>	40
Tabel 4.5 Nilai <i>Amplitudo</i> dalam 3 siklus tiap step nya.....	41
Tabel 4.6 Nilai <i>Amplitudo</i> dalam 2 siklus tiap step nya.....	41
Tabel 5.1 Perbandingan perilaku <i>load-carrying capacity</i>	55
Tabel 5.2 Perbandingan Disipasi Energi.....	66
Tabel 5.3 Tabel tegangan regangan setiap spesimen SPSW.....	68
Tabel 5.4 Nilai Daktilitas.....	69

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dinding geser pelat baja/*steel plate shear wall* (SPSW) telah digunakan dalam industri konstruksi selama beberapa dekade mulai dari tahun 1970-an. Penggunaan sistem ini telah meningkat secara signifikan dalam beberapa tahun terakhir. SPSW sekarang sedang digunakan tidak hanya di daerah seismik yang tinggi, tetapi juga untuk beban angin dan aplikasi seismik rendah (Berman dan Bruneau, 2003). SPSW tidak hanya cocok untuk gedung-gedung tinggi, tetapi juga untuk pembangunan gedung dengan ketinggian menengah (Berman dan Bruneau, 2003)

Sebuah dinding geser pelat baja adalah struktur yang menahan beban lateral elemen yang terdiri dari tiga komponen yaitu pelat/panel, balok yang disebut sebagai *horizontal boundary elements* (HBE) dan kolom yang disebut *vertical boundary elements* (VBE). Pelat baja biasanya terhubung ke balok dan kolom sekitarnya melalui pelat sambungan kecil. SPSW dipasang pada letak tertentu sepanjang ketinggian penuh struktur untuk membentuk dinding kantilever. SPSW mengalami deformasi inelastis siklik menunjukkan kekakuan awal yang tinggi sebelum pelat tertekuk, SPSW sifatnya yang duktail dan mampu menyerap energi. Karakteristik ini membuat SPSW cocok untuk melawandan menahan beban gempa (Koppal, 2012). Ada dua jenis SPSW yang digunakan dalam konstruksi bangunan: SPSW berpengaku dan SPSW tak berpengaku. Prosedur desain awal mencegah tekuk dan dirancang untuk menghasilkan geser dari pelat baja pada rentang elastik, tapi ini mengakibatkan pelat SPSW relatif tebal atau pelat sangat kaku. Kekakuan yang meningkatkan geser tekuk kekuatan pelat SPSW dan juga meningkatkan kekakuan pasca melengkungnya. Kekakuan juga secara substansial meningkatkan jumlah baja yang dibutuhkan dan biaya konstruksi (Koppal, 2012).

Penelitian di tahun 1980-an membawa perubahan dalam pendekatan dasar merancang SPSW. Pendekatan saat ini memungkinkan tekuk geser panel dan pengembangan pasca tekuk tarik diagonal yang merupakan modus utama resistensi gaya lateral dalam SPSW dan dengan demikian tidak memerlukan pengaku. SPSW tanpa pengaku menjadi populer di Amerika Serikat mulai tahun 2000, *vertical boundary elements* (VBE) dirancang untuk elastis untuk panel leleh sepenuhnya, memungkinkan HBE untuk menjalani sendi plastis. Untuk desain seismik yang tinggi, SPSW dirancang untuk memungkinkan pelat mencapai tegangan leleh di seluruh panel (Koppal, 2012).

Menurut hasil percobaan SPSW yang dilakukan oleh Driver tahun 1998 menunjukkan terjadinya kolom yang tertekuk. Hal ini menunjukkan bahwa SPSW memerlukan kolom struktur dengan dimensi yang besar untuk menahan gaya axial dan momen guling yang terjadi. Para peneliti mulai melakukan studi untuk mendapatkan SPSW yang mampu mengurangi kebutuhan dimensi kolom yang besar.

SPSW dengan melubangi/perforasi pelat baja telah dilakukan oleh para peneliti mulai pada tahun 1990. Perilaku SPSW dengan lubang diselidiki dalam program eksperimental dengan melubangi pelat baja untuk mengurangi kekuatan, memungkinkan penggunaan pelat tebal yang meningkatkan kekakuan dan kapasitas disipasi energy tanpa meningkatkan ukuran dari *boundary element*. Dengan melubangi pelat baja akan memungkinkan utilitas untuk melewatinya tanpa harus mengalihkan utilitas melalui jalan yang berbeda yang akan menambah biaya konstruksi (Koppal, 2012).

Para peneliti seperti Vian dan Bruneau (2005) telah memberikan pemahaman yang baik tentang perilaku SPSW berlubang, akan tetapi dalam studi tersebut perforasi lubang dilakukan dengan bentuk lingkaran. Pada thesis ini akan dilakukan permodelan perforasi lubang baru menggunakan perangkat lunak elemen hingga (ABAQUS 6.10).

Metode yang akan diambil dalam penempatan lubang pada SPSW diantaranya *perforations along the Plate diagonal*. Pendekatan ini terdiri dari lubang lingkaran, segi empat, segi enam berada pada sepanjang diagonal dari pelat baja. Konsep ini adalah untuk menciptakan aksial pendek menghasilkan hubungan

antar lubang untuk mengontrol kekuatan pelat baja. Kekakuan pelat baja diharapkan tidak berkurang secara signifikan akibat variasi pereforasi ini.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka permasalahan yang akan dibahas dalam tesis ini adalah :

1. Bagaimana memodelkan SPSW dengan variasi perforasi pada plat baja menggunakan software abaqus 6.10 ?
2. Bagaimana cara melakukan pembebanan siklik pada SPSW?
3. Bagaimana perhitungan analitis untuk kapasitas geser SPSW?
4. Bagaimana Analisa perilaku steel plate shear wall apabila diberikan variasi perforasi pada plat baja?

1.3 Tujuan Pembahasan

Dari permasalahan yang ada diatas,tujuan yang ingin dicapai dalam penyusunan tesis ini adalah :

1. Mengetahui pemodelan SPSW dengan variasi perforasi pada plat baja menggunakan software abaqus 6.10
2. Mengetahui Simulasi pembebanan siklik pada SPSW
3. Mengetahui perhitungan analitis untuk desain SPSW khususnya dengan pembanan siklik.
4. Mengetahui perilaku SPSW apabila diberikan variasi perforasi pada plat baja akibat pembebanan siklik.

1.4 Batasan Masalah

Lingkup pembahasan yang akan dianalisa mencakup :

1. Studi ini hanya membahas tentang SPSW yang diberi beban siklik.
2. Studi ini menggunakan program bantu Abaqus 6.10.
3. Studi ini menggunakan SPSW menggunakan dimensi dan profil yang sama

1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diberikan pada tesis ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai bahan masukan bagi perencanaan struktur gedung konstruksi baja yang menggunakan sitem SPSW.
2. Sebagai bahan masukan untuk penyusunan peraturan mengenai perencanaan SPSW.
3. Sebagai bahan pertimbangan bentuk perforasi SPSW dalam mendesain gedung konstruksi baja yang menggunakan sitem SPSW.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Perilaku dinding geser plat baja/Steel Plate Shear Wall (SPSW) dapat secara memadai diprediksi oleh analisis elemen hingga inelastis dengan pemodelan panel web menggunakan sejumlah elemen shell (Koppal, 2012). Hal ini harus dilakukan untuk menggabungkan non-linearities geometris dan material yang inherent ada dalam system. Perilaku SPSW mirip dengan gelagar pelat. Sebuah analogi antara gelagar pelat dan sistem SPSW telah disarankan (Koppal, 2012). Vertical Boundary Element (VBE) bertindak sebagai flens dari gelagar pelat dan Horizontal Boundary Element (HBE) bertindak sebagai pengaku dan panel web baja SPSW bertindak seperti web dari gelagar pelat. SPSW tanpa pengaku (Unstiffened) yang dirancang untuk gesper di geser dan mengembangkan bidang tarik diagonal yang mirip dengan balok utama plat vertikal secara kualitatif saja (Koppal, 2012). Perbedaan dalam dua sistem hasil dari kekakuan elemen batas, dimana flens plat girder biasanya dengan sumbu lemah kekakuan lentur kecil, unsur-unsur batas vertikal SPSW yang biasa pada bagian flens lebar yang memiliki substansial dalam kekakuan lentur, sementara VBE melawan kekuatan terkait dengan pelat web, flens dari balok utama plat gesper dan plat girder (Koppal, 2012). Sudut kemiringan bidang tarik diagonal yang berkembang di SPSW, didefinisikan sehubungan dengan vertikal, tergantung pada kekakuan elemen batas. Dalam balok utama plat, kekakuan elemen batas biasanya diabaikan dalam menentukan sudut ini karena kekakuan yang rendah, Oleh karena itu untuk desain seismik pada khususnya, dianjurkan dalam peraturan baja Kanada (CAN/CSA S1601) bahwa model jalur digunakan untuk model SPSW, untuk menghitung sudut kemiringan medan tegangan dengan strip untuk menghitung kekuatan utama dari SPSW (Berman dan Bruneau, 2005).

Representasi Model strip sebuah SPSW telah menjadi salah satu metode yang populer dan menggambarkan perilaku system, telah diamati bahwa model analisis strip SPSW yang mampu menangkap perilaku SPSW ke tingkat yang

memadai akurasi ketika SPSW dimodelkan dengan setidaknya 10 strip sepanjang diagonal dari panel web (Berman dan Bruneau, 2005). Gambar 2.1 menunjukkan model representasi strip SPSW diturunkan persamaan untuk sudut kemiringan medan tegangan sebagai sudut antara arah strip dan arah vertikal seperti yang diberikan di bawah ini:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{1 + \frac{t.L}{2Ac}}{1 + t.h \left(\frac{1}{Ab} + \frac{h^3}{360.Ic.L} \right)} \right)^{1/4} \quad (2.1)$$

dimana:

α = sudut

t = ketebalan pelat web

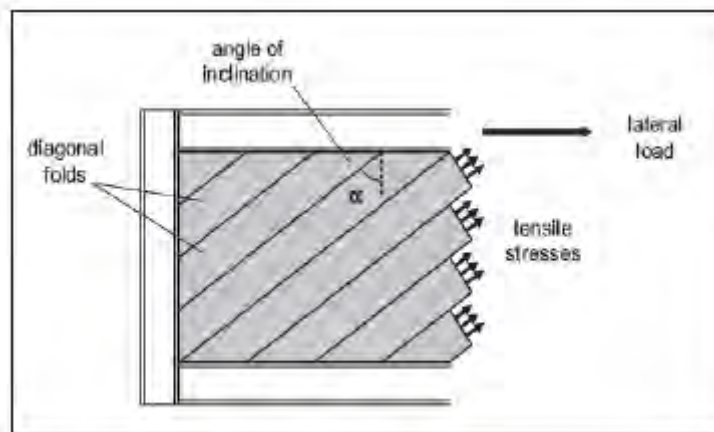
h = tinggi

L = lebar

Ic = momen inersia elemen batas vertikal

Ac = luas penampang dari elemen batas vertikal

Ab = luas penampang dari elemen batas horizontal



Gambar 2.1 Aksi tegangan bidang dalam yang ideal SPSW jalur model representasi (Berman dan Bruneau, 2005)

2.2 Spsw Dengan Panel Solid

Studi analitis dan berbagai komponen dan tes pada SPSW telah dilakukan oleh berbagai peneliti di masa lalu. Tes ini telah memberikan wawasan

yang lebih baik pemahaman tentang perilakuSPSW. Penelitian eksperimental (Berman dan Bruneau, 2005) menunjukkan bahwa, ketika mengalami tingkat deformasi siklik jauh melampaui batas elastis, SPSW memiliki karakteristik respon histeresis yang memadai. Dalam percobaan yang dilakukan, model SPSW tunggal dan bertingkat dari berbagai tingkatan skala yang dikenai beban siklik kuasistatis. Dalam semua kasus, sehingga loop hysteresis eksperimental stabil hingga rasio daktilitas relatif besar dan menunjukkan bahwa sejumlah besar energi hilang melalui deformasi inelastis.

Bukti eksperimental menunjukkan bahwa efek cengkeraman kurang dijelaskan di SPSW yang memiliki momen menolak balok ke kolom koneksi dibandingkan mereka yang memiliki koneksi sederhana (Berman dan Bruneau, 2005). Persyaratan sambungan momen antara balok dan kolom, pelat baja tipis terjepit respon histeresis dengan sedikit disipasi energi, sedikit perlawanan untuk memuat pembalikan dan ketahanan tekuk kecil terbukti menjadi motivasi untuk meringankan masalah ini dan dengan demikian penelitian itu merupakan upaya ke arah ini. Program pengujian spesifik yang dilakukan di masa lalu oleh berbagai peneliti disajikan dalam bagian berikut.

Para peneliti mengembangkan sebuah model analisis sederhana yang disimulasikan tegangan aksi bidang diagonal pada dinding baja tipis dikenakan gaya geser oleh strip tegangan miring. Model inidikembangkan berdasarkan oleh karya (Berman dan Bruneau, 2005) yang pertama kali disajikan teori untuk jaring tipis dikenakan geser memanfaatkan kekuatan pasca tekuk. Dengan asumsi bahwa balok dan kolom dalam SPSW yang tetap kaku dalam lentur dan bahwa panel web akan melengkung di bawah beban tekan diagonal, persamaan berikut berasal untuk sudut kemiringan:

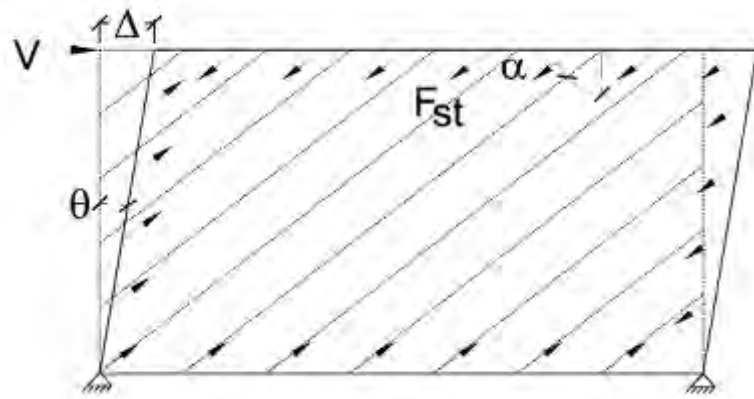
$$\tan^4 \alpha = \frac{1 + \frac{L \cdot t}{2Ac}}{1 + \frac{h \cdot t}{Ab}} \quad (2.2)$$

dimana:

- h = framing tinggi
- L = lebar bingkai
- t = ketebalan panel

A_b dan A_c = area penampang balok dan kolom

Penyelidikan menunjukkan bahwa untuk mewakili pane lweb, setidaknya sepuluh strip tegangan akan diperlukan. Gambar 2-2 menunjukkan model jalur tegangan dengan balok kaku. Hal ini dianggap sebagai asumsi yang valid untuk panel interior dalam struktur bertingkat karena komponen vertical dari medan tegangan dari yang berdekatan akan menentang satu sama lain dan jaring vertical defleksi balok akan diabaikan.



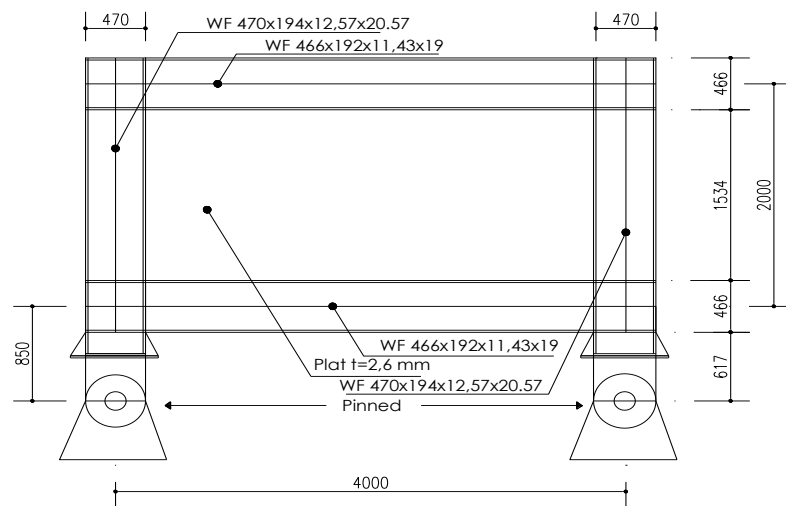
Gambar 2.2 Skema representasi dari model strip SPSW single (Berman dan Bruneau, 2005)

Sebuah studi analisis pada struktur 12 lantai dilakukan (Vian dan Bruneau, 2005) koneksi balok-kolom saat resisten. Struktur memiliki SPSW hanya sepanjang ketinggian pusat. Pengaruh hubungan balok ke kolom dan plat adalah focus penelitian tersebut. Empat kasus yang dipertimbangkan diantaranya:

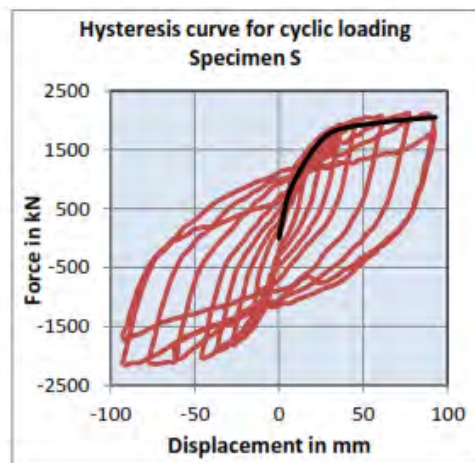
1. Momen tahanan balok ke kolom koneksi dan piring web penuh terhubung ke bingkai sekitarnya.
2. Momen tahanan balok ke kolom koneksi dan piring web melekat hanya balok.
3. Simple balok ke kolom koneksi dan piring web sepenuhnya terhubung.
4. Balok ke kolom hubungan dengan piring web yang terhubung hanya untuk balok.

2.3 SPSW Spesimen S

Ketebalan pelat yang sama untuk setiap konfigurasi tetapi bervariasi sepanjang ketinggian. Ditemukan bahwa jenis balok ke kolom sambungan dalam sistem SPSW memiliki efek signifikan pada perilaku gaya perpindahan sistem global (Vian dan Bruneau, 2005). Hasil ini menghubungkan panel ke kolom ternyata hanya sedikit peningkatan dalam kapasitas akhir dari sistem (Vian dan Bruneau, 2005). Hal ini juga menyimpulkan bahwa sistem SPSW dengan piring web yang terhubung hanya ke balok dan menggunakan balok sederhana sampai 10 koneksi kolom adalah konfigurasi yang optimal karena secara drastis mengurangi geser kekuatan dalam elemen batas vertikal dan membantu menghindari sendi plastis pada kolom sebelum sendi plastis di balok (Vian dan Bruneau, 2005).



Gambar 2.3 Model SPSW solid panel (Vian dan Bruneau, 2005)

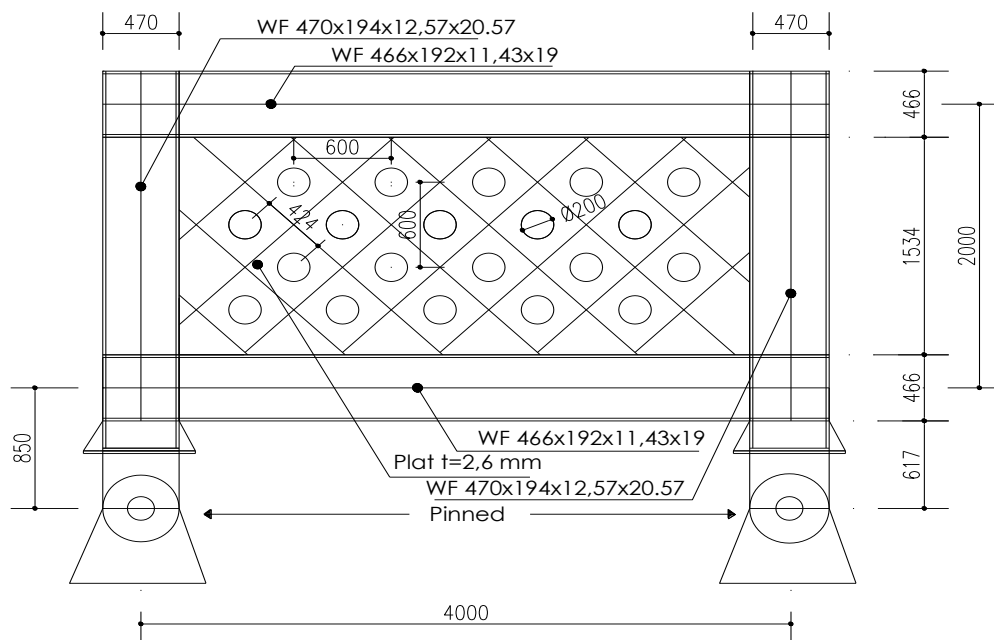


Gambar 2.4 Hasil kurva Force vs Displacement (Vian dan Bruneau, 2005)

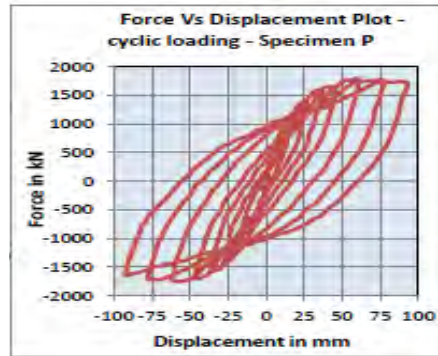
2.4 SPSW dengan Perforasi pada Plat

SPSW dengan perforasi dilaksanakan oleh para peneliti mulai pada tahun 1990. Perilaku SPSW dengan perforasi diselidiki dalam program eksperimental termasuk yang dilakukan di Laboratorium MCEER. Penggunaan perforasi di plat baja mengurangi kekuatan, memungkinkan penggunaan pelat tebal yang meningkatkan kekakuan dan kapasitas disipasi energi tanpa meningkatkan ukuran dari elemen batas. Perforasi akan memungkinkan utilitas untuk melewati mereka tanpa harus mengalihkan utilitas melalui jalan yang berbeda yang akan menambah biaya konstruksi (Koppal, 2012). Bagian berikut menjelaskan studi tentang perforasi SPSW.

Vian dan Bruneau (2005) meneliti perilaku SPSW dengan pengaturan dari perforasi dan dengan sudut diagonal dengan bantuan eksperimen dan pemodelan Elemen hingga. Mereka menguji dua spesimen yang ditunjuk sebagai spesimen P untuk panel berlubang. Spesimen P memiliki beberapa lubang secara teratur ditempatkan pada panel dengan ukuran diameter 200 mm diameter lubang diatur secara bergiliran di sudut 45 derajat dan 300 mm pusat ke pusat jarak dalam empat strip 4 lubang di setiap strip. Spesimen P diuji untuk batas penyimpangan interstory maksimal 3% .



Gambar 2.5 Model SPSW perforasi circle (Vian dan Bruneau, 2005)



Gambar 2.6 Hasil kurva Force vs Displacement (Vian dan Bruneau, 2005)

Vian dan Bruneau (2005) mengembangkan persamaan untuk memperkirakan pengurangan panel kekakuan karena adanya perforasi. Untuk panel dengan beberapa perforasi, diatur dalam diagonal strip, seperti specimen yang diuji, faktor reduksi kekakuan berasal dengan asumsi bahwa perilaku elastic dari perforasi strip dapat mewakili strip diseluruh panel, sebagai sebuah kelompok dari parallel anggota aksial yang dimuat. Kekakuan pelat web berlubang dan kekakuan pelat web yang solid, total perpindahan dari strip berlubang dapat dihitung dan kekakuan yang dihasilkan diatur sama dengan kekakuan dari tegangan lebar efektif yang seragam. Lebar efektif ini dibagi dengan luas kotor strip berlubang adalah factor reduksi kekakuan yang diusulkan oleh mereka (Sabelli dan Bruneau, 2007). Persamaan ini memberikan hasil yang baik ketika factor dibawah ini :

$$\frac{D}{s_{diag}} \leq 0,5 \quad \frac{K_{perf}}{K_{panel}} = \frac{1 - \left(\frac{\pi D}{45 s_{diag}} \right)}{1 - \left(\frac{\pi D}{45 s_{diag}} \right) \left(1 - \frac{N_r D \sin \theta}{h_{panel}} \right)} \quad (2.3)$$

dimana:

D = diameter perforasi

S diag = jarak perforasi

Nr = jumlah baris horizontal perforasi

H = ketinggian panel

θ = sudut jalur diagonal

K perf = kekakuan panel perforasi

K panel= kekakuan panel Solid

$$\frac{D}{S_{diag}} \leq 1 - Y_t \left(\frac{F_y}{F_u} \right) \quad (2.4)$$

dimana:

D = diameter perforasi

S diag = Jarak perforasi

Fy = tegangan leleh

Fu = tegangan ultimite

Fy dan Fu adalah hasil dan kekuatan tarik, masing-masing dari bahan plat web dan dianjurkan untuk menggunakan nilai-nilai Yt sebesar 1.0 untuk $F_y/F_u \leq 0,8$ atau 1,1. Hal ini juga merekomendasikan bahwa saat baja frame dengan SPSW berlubang dirancang untuk story drift antar maksimal 1,5 persen. Untuk mempermudah ia menyarankan bahwa tata letak perforasi sudut θ , diadopsi sebagai konstan 45° sudut. Vian dan Bruneau (2005) mengusulkan persamaan berikut untuk perhitungan kekuatan panel berlubang sebagai terkait dengan kekuatan panel solid dengan istilah dalam persamaan dijelaskan sebelumnya.

$$V_{yp.perf} = 1 - \frac{D}{S_{diag}} V_{yp} \quad (2.5)$$

dimana :

D = diameter perforasi

S diag = jarak perforasi

Vyp perf = tegangan leleh panel perforasi

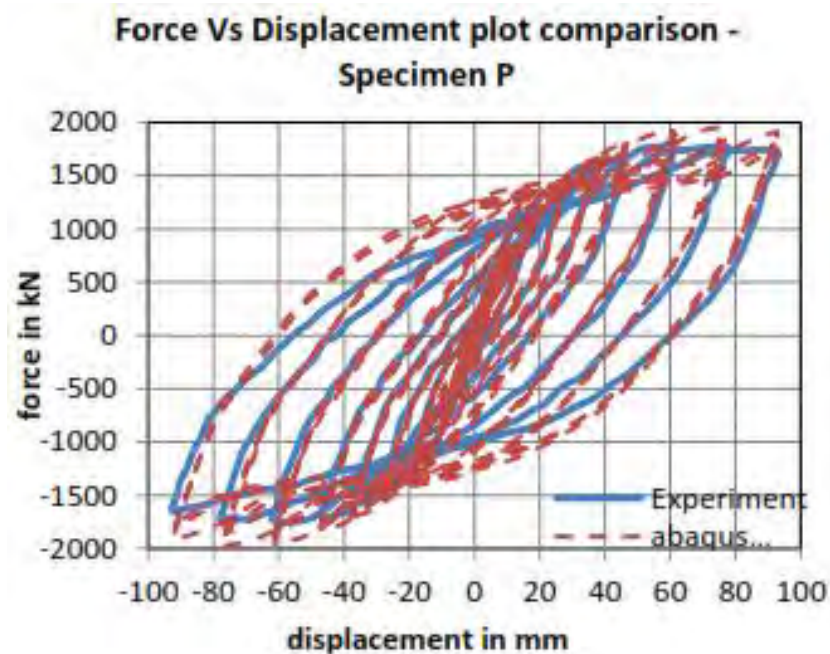
Vyp = tegangan leleh panel solid

Wang Meng (2015) menyimpulkan bahwa rotasi memuat perakitan, memutar kolom berikutnya, distorsi balok atas dan frame dukungan lateral, fraktur koneksi RBS menjelaskan perbedaan antara eksperimental dan analitis hasil drift

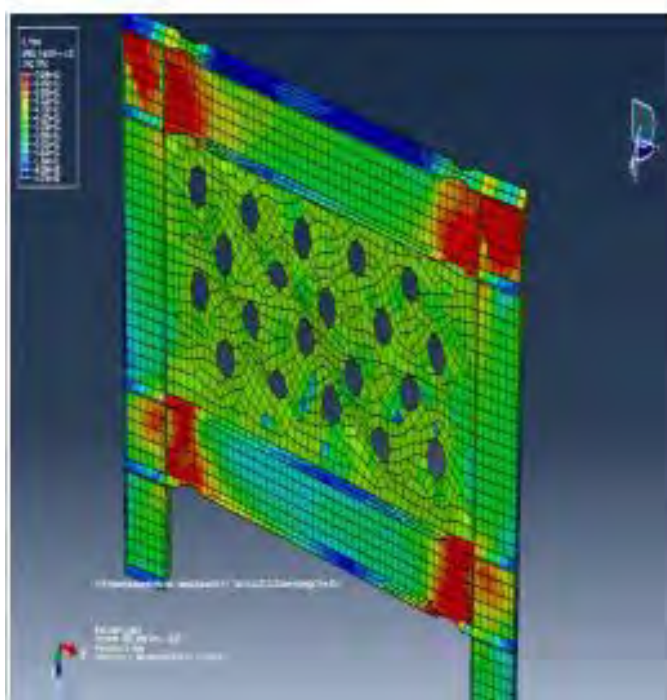
besar sebagai model FE tidak dikembangkan pada distorsi tersebut dan kegagalan material.

2.5 SPSW Spesimen P

Perilaku hysteresis specimen P diperoleh dari percobaan yang dilakukan oleh Vian dan Bruneau (2005) dan model elemen hingga yang dimodelkan di ABAQUS 6.10. Kekuatan puncak dari model eksperimental adalah 1800 kN dan dari model elemen hingga adalah 1.950 kN. Kekakuan awal dari percobaan adalah 615 kips dan dari model elemen hingga adalah 710 kips/inch. Hal ini terlihat bahwa ada korelasi yang baik antara eksperimental kurva hysteresis dan hysteresis dari model elemen hingga. Ini memvalidasi kecukupan teknik pemodelan yang diusulkan untuk digunakan dalam pemodelan SPSW dengan perforasi.



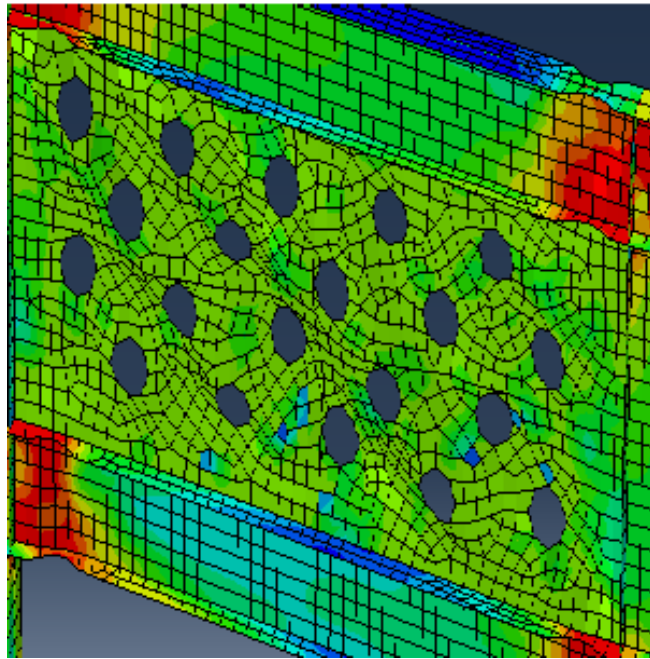
Gambar 2.7 Hasil kurva Historis Eksperimen Vs Pemodelan Abaqus 6. 10 (Vian dan Bruneau, 2012)



Gambar 2.8 Hasil Rendering Abaqus SPSW spesimen P (Koppal,2012)



Gambar 2.9 Hasil eksperimen SPSW spesimen P (Vian dan Bruneau,2005)



Gambar 2.10 Hasil rendering Abaqus kerusakan akhir,SPSW spesimen P (Koppal,2012)

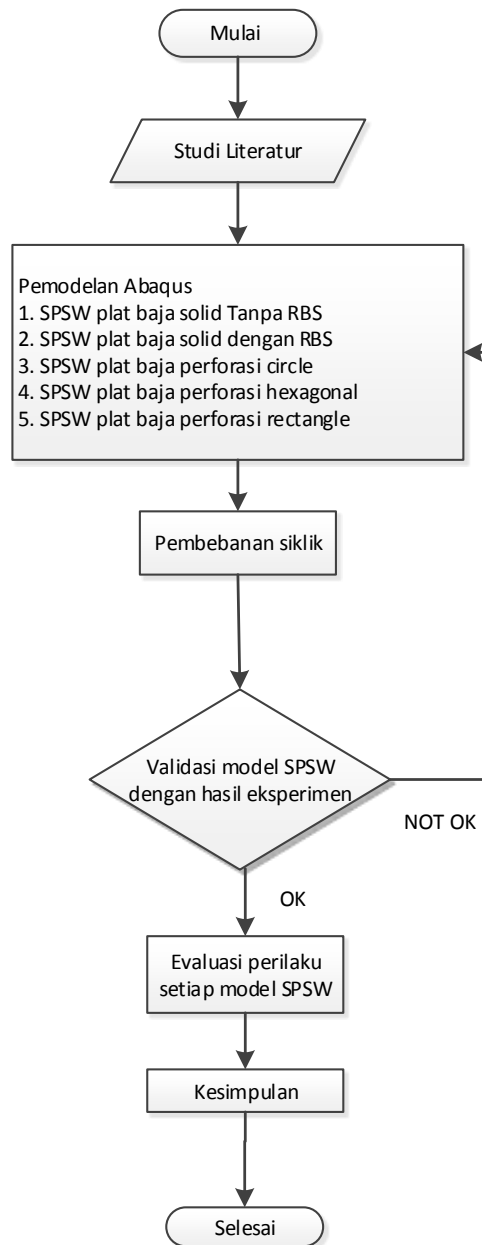
“Halaman ini sengaja di kosongkan”

BAB 3

METODOLOGI

3.1 Flowchart metodologi

Dalam menyelesaikan penelitian ini maka diperlukan langkah-langkah/Flowchart metodologi sebagai berikut:



Gambar3.1 Flowchart metodologi

3.2 Studi Literatur

Pada tahap Studi literatur ini adalah mempelajari jurnal-jurnal baik jurnal eksperimental maupun jurnal permodelan untuk mengetahui parameter-parameter dalam penelitian ini. Jurnal-jurnal yang berkaitan ini juga sebagai acuan dalam pembuatan metode analisis dari penyelesaian penelitian ini.

Idealnya, sebuah SPSW harus dirancang sedemikian rupa sehingga semua panel baja menghilangkan energi melalui inelastisdeformasi ketika struktur dikenai tindakan seismik yang diharapkan. Oleh karena itu, untuk frame geometri yang diberikan, ketebalan panel baja harus ditentukan sebagai fungsi dari permintaan gaya geser yang sesuai. Sebuah pendekatan praktis terdiri dari persamaan pendekatan yang disarankan oleh (Vian dan Bruneau, 2005)

$$t_{wi} = \frac{2V_i}{F_y \cdot L \cdot \sin(2\alpha_i)} \quad (3.1)$$

Dimana:

t_{wi} = tebal panel

V_i = gaya geser

F_y = tegangan leleh

L = lebar panel

α = sudut representasi strip

Selanjutnya, vertikal boundary elemen (VBE) bahwa momen inersia I harus sedemikian rupa sehingga:

$$0,70 \cdot h \left(\frac{t_w}{2 \cdot L \cdot I_c} \right)^{0,25} \leq 2,5 \quad (3.2)$$

$$I_c \geq \frac{0,00307 \cdot t_w \cdot h^4}{L} \quad (3.3)$$

dimana:

t_w = Tebal panel

h = Tinggi bingkai

I_c = Momen inersia

L = Lebar bingkai

Telah diusulkan untuk elemen batas horisontal (HBE) ditingkat atap dan pondasi, bagian memberikan kekuatan yang diperlukan untuk memenuhi lentur sesuai tuntutan untuk memberikan kekakuan yang memadai. Harus diingat bahwa HBE di atap dan pondasi tingkat harus menjangkar aksi menarik dari panel baja yang terjadi, yang umumnya menghasilkan ukuran yang cukup besar.

Vian dan Bruneu tahun 2005 telah berpendapat bahwa, karena perilaku SPSW mirip dengan kantilever vertikal balok utama plat. VBE bertindak seperti *flens*, HBE bertindak seperti pengaku dan panel baja bertindak seperti *web*.

Tabel 3.1 Parameter Spesimen Material Modeling.

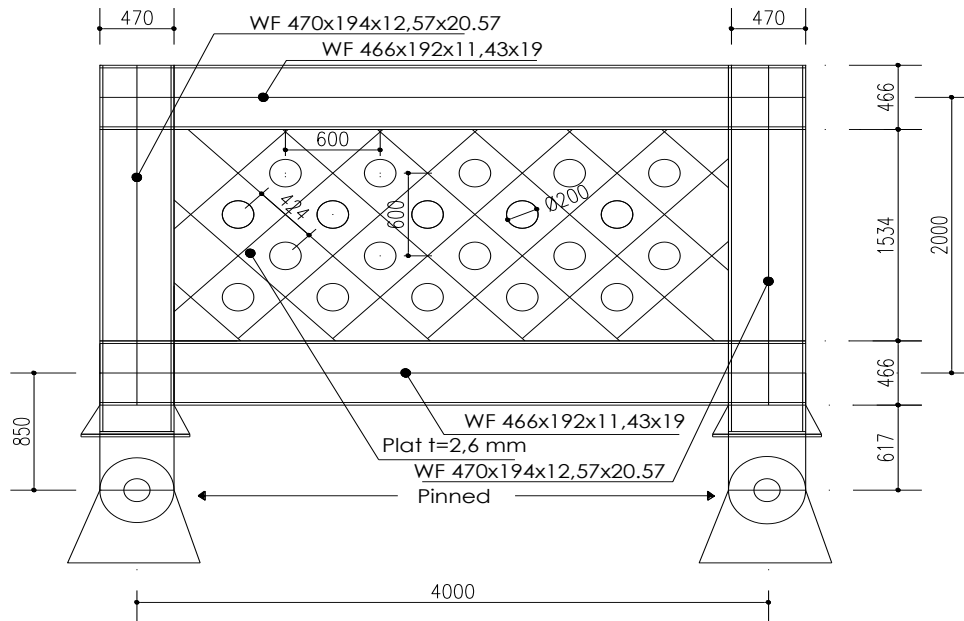
No	Type SPSW	Spesimen	Profil	Jenis Baja	fy (Mpa)	fu (Mpa)
1	SPSW Solid (LYS) dengan RBS	SR	HBE	A572	345	450
			VBE	A572	345	450
			Plate	LYS	165	300
2	SPSW Solid (LYS) tanpa RBS	ST	HBE	A572	345	450
			VBE	A572	345	450
			Plate	LYS	165	300
3	SPSW Perforasi Circle (LYS) dengan RBS	SC	HBE	A572	345	450
			VBE	A572	345	450
			Plate	LYS	165	300
4	SPSW Perforasi Rectangle (LYS) dengan RBS	SQ	HBE	BJ 37	345	450
			VBE	BJ 37	345	450
			Plate	LYS	165	300
5	SPSW Perforasi Hexagon (LYS) dengan RBS	SH	HBE	BJ 37	345	450
			VBE	BJ 37	345	450
			Plate	LYS	165	300

Tabel 3.2. Dimensi Spesimen SPSW

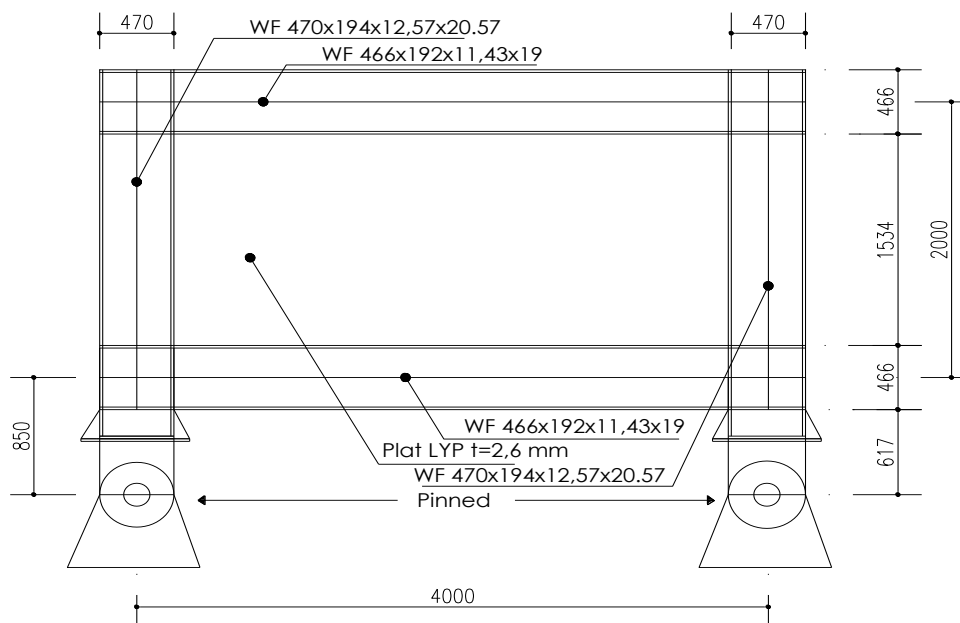
No	Spesimen	Perforasi	Jumlah(n)	Diameter (cm)	Sisi (cm)	Diagonal (cm)	Luasan (cm ²)
1	SR	-	-	-	-	-	-
2	ST	-	-	-	-	-	-
3	SC	Circle	20	20	-	-	314
4	SQ	Rectangle	20	-	11	-	314
5	SH	Hexagon	20	-	-	25	314

3.3 Pemodelan pada Abaqus 6.10

Berikut adalah pemodelan pada alat bantu software abaqus 6.10 untuk pemodelan SPSW sebagai Validasi terhadap experiment yang terdahulu:

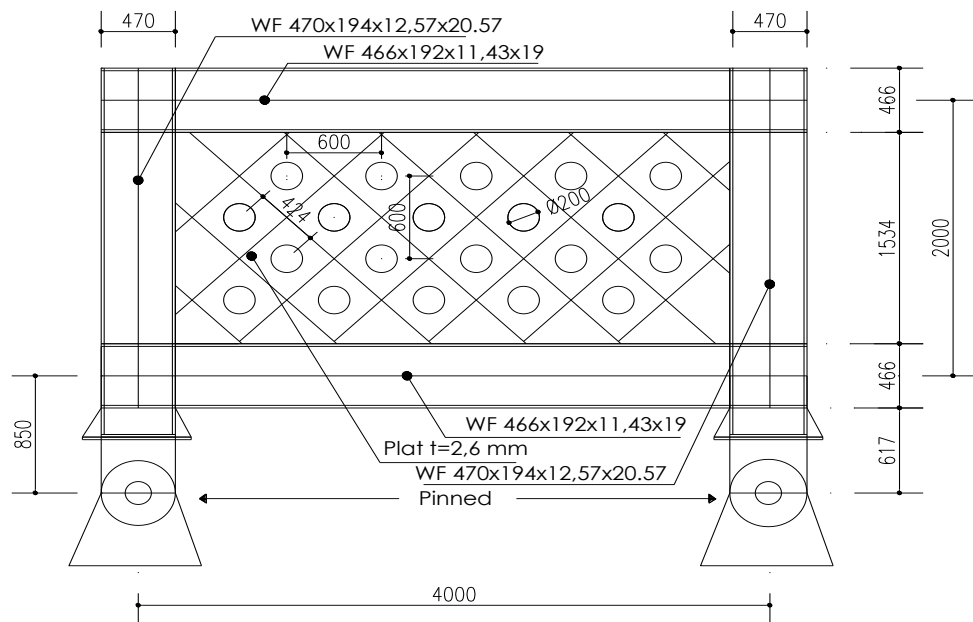


Gambar 3.2 Model SPSW perforasi circle LYS (validasi)

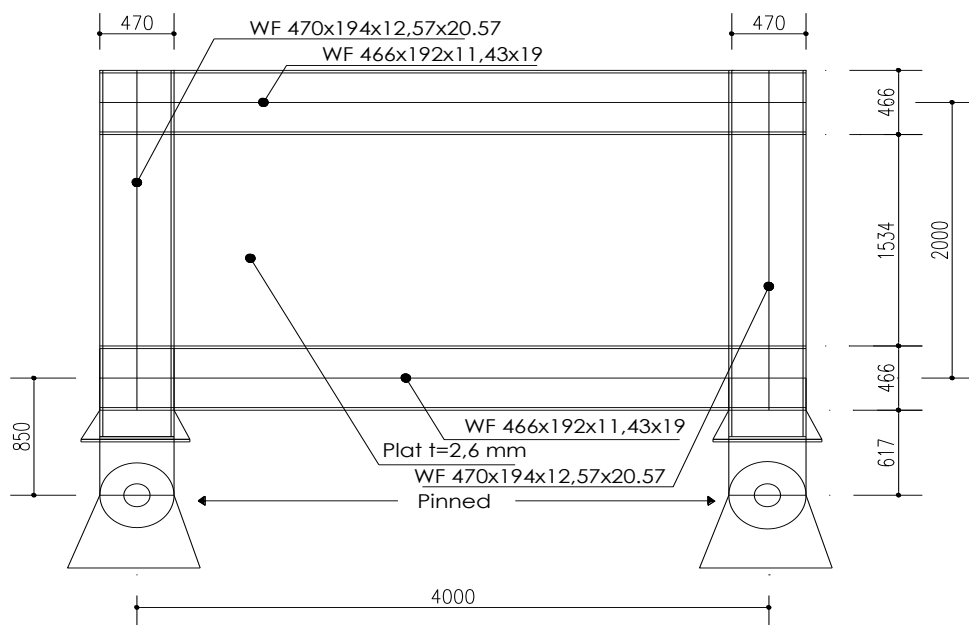


Gambar 3.3 Model SPSW panel solid LYS. (Validasi)

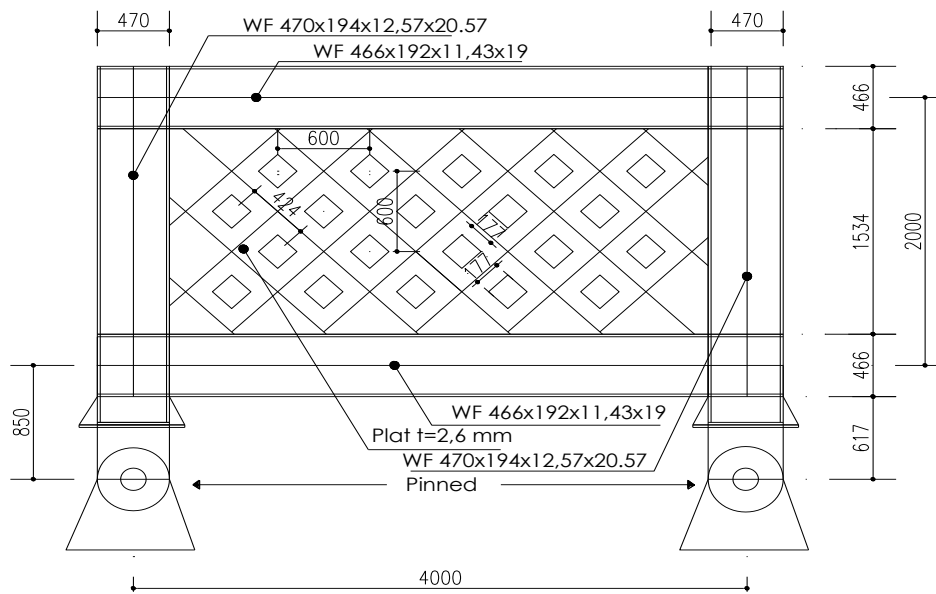
Berikut adalah pemodelan pada alat bantu software abaqus 6.10 untuk pemodelan variasi perforasi SPSW dengan mutu baja BJ 37:



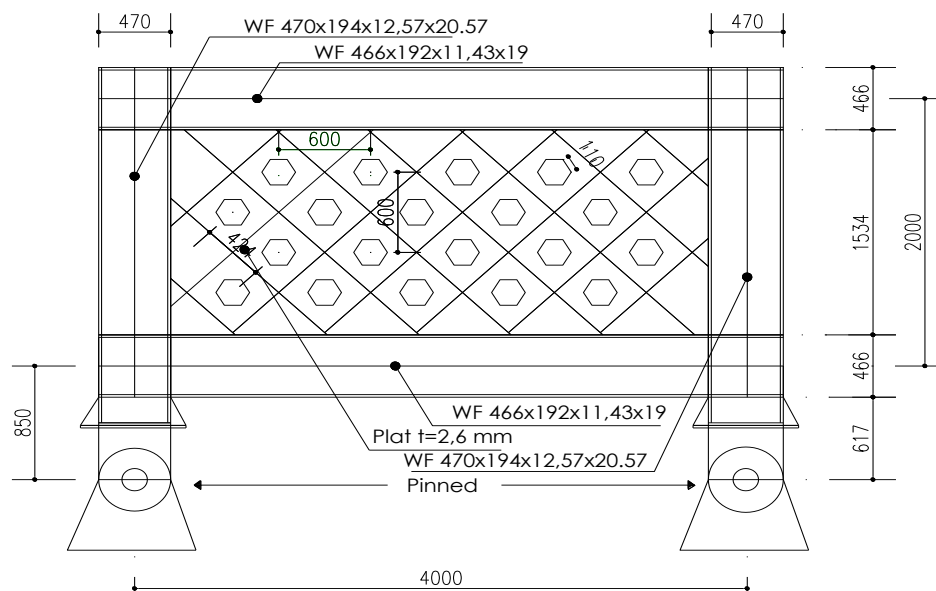
Gambar 3.4 Model SPSW perforasi circle.



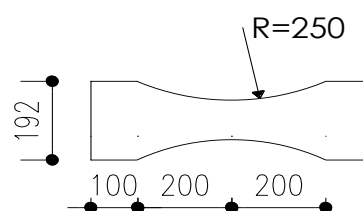
Gambar 3.5 Model SPSW panel solid



Gambar 3.6 Model SPSW perforasi rectangle.



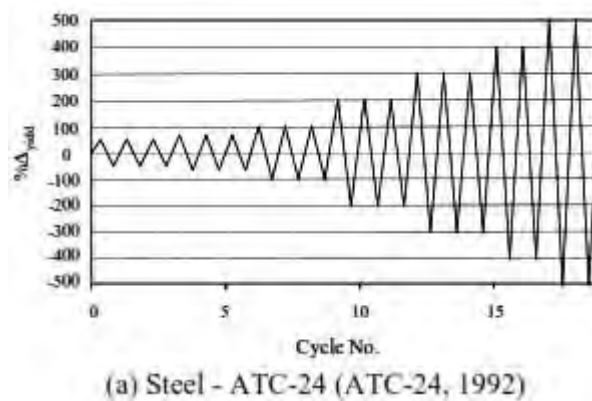
Gambar 3.7 Model SPSW perforasi Hexagon



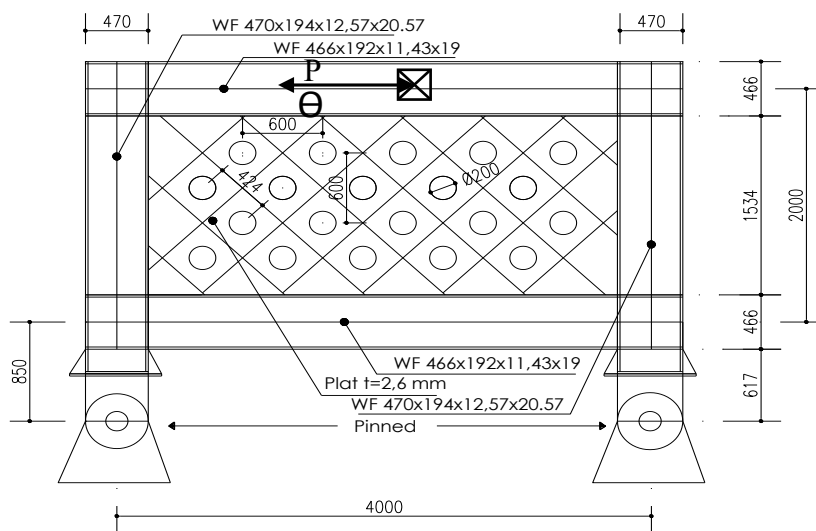
Gambar 3.8 Detail RBS pada dekat ujung dari HBE.

3.4 Pembebanan

Pada tahap pembebanan mengacu pada beban siklik yang dilakukan oleh (Vian dan Bruneau, 2005). Tes ini dilakukan dengan menggunakan kuasi statis beban siklik sesuai terapan direkomendasikan oleh Teknologi Council (ATC) memuat protokol ATC 24 (ATC, 1992). Spesimen ini mencapai rasio daktilitas 12 dan pergeseran 3,7% dan material pengisi untuk memberikan sekitar 90% dari kekakuan awal sistem. Perpindahan puncak siklus 20 (rasio daktilitas dari 6, 1,82% penyimpangan) dan fraktur di infill sudut selama siklus (rasio daktilitas dari 10, 3,07% penyimpangan) 26. Pada penelitian ini akan digunakan pembebanan Displacement seperti grafik dibawah ini:



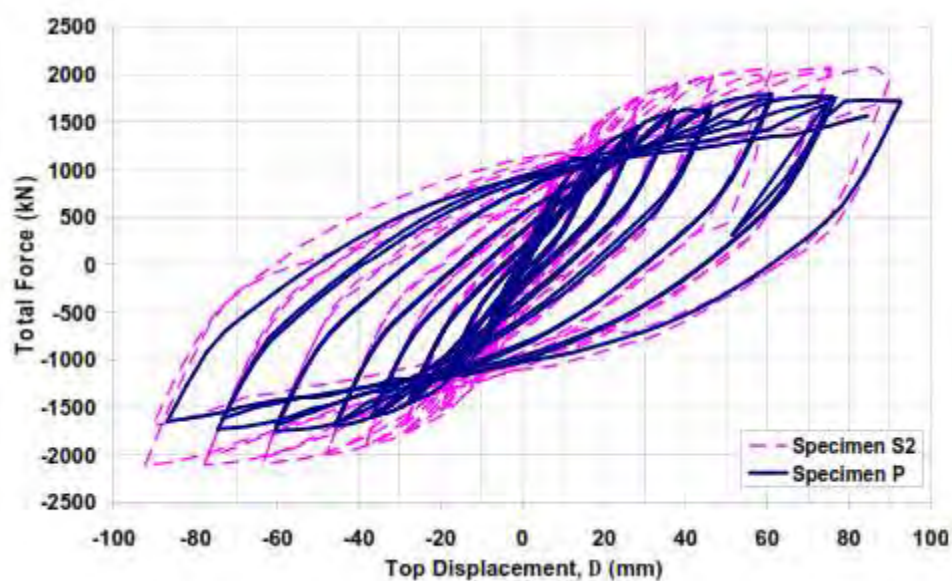
Gambar.3.9 Grafik pembebanan displacement.



Gambar 3.10 Set up pembebanan.

3.5 Validasi hasil analisa numerik pemodelan

Pada tahap ini hasil pemodelan SPSW akan dibandingkan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan. Dalam hal ini akan dilakukan Validasi 2 tipe pemodelan yaitu tipe SPSW solid dan SPSW dengan perforasi Circle. Hasil penelitian tipe SPSW solid dan SPSW perforasi mengacu pada jurnal '*Steel Plate Shear Wall Building : Building Design Requirement and Research*' at MCEER Laboratory (Vian dan Bruneu). Pada SPSW solid gaya maksimum dalam eksperimen adalah 2100 kN dengan drift 3,07 %. Pada SPSW perforasi circle gaya maksimum dalam eksperimen adalah 1800 kN drift 3,07 %. Berikut hasil eksperimen SPSW solid panel dan perforasi circle oleh Vian dan Bruneu, 2007.



Gambar 3.11 Histeresis curves SPSW solid panel dan perforasi circle, drift 3% (Vian dan Bruneu, 2005)

3.6 Analisa perilaku SPSW dengan variasi perforasi

Pada tahap ini dilakukan perbandingan antar model perforasi SPSW baik secara kapasitas, disipasi energi, daktilitas, perilaku patah plat baja, dan pola kegagalan.

- Kapasitas SPSW.
Kapasitas SPSW yang dihasilkan dengan pembebanan siklik.
- Kurva siklik SPSW.

Hasil analisa numerik disajikan dalam kurva hubungan antara beban dan displacement yang terjadi.

- Disipasi energi SPSW.

Disipasi energi dari SPSW sangat penting dikarenakan untuk mengetahui seberapa besar penyerapan energi akibat pembebanan siklik yang diberikan

- Daktilitas SPSW.

Daktilitas struktur SPSW merupakan hubungan antara simpangan ultimate dengan simpangan waktu leleh.

- Failure modes

Perilaku struktur pada saat proses pembebanan berlangsung, SPSW mengalami deformasi pada tiap step.

- Economy Performance

Penilaian dilihat dari sisi fungsi dan kegunaan yang berhubungan dengan pekerjaan lain baik pekerjaan arsitektural, utilitas, mechanical, electrical dan plumbing.

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

BAB 4

PERMODELAN STRUKTUR

Pada bab ini akan disampaikan cara untuk memodelkan struktur berbagai tipe SPSW, mulai dari profil-profil baja yang digunakan sampai dengan cara memodelkan pada alat bantu analisa *finite element* software ABAQUS 6.10.

4.1. Profil yang digunakan.

Mengacu pada percobaan dan penelitian SPSW dengan judul '*Steel Plate Shear Wall Building : Building Design Requirement and Research*' at MCEER Laboratory (Vian dan Bruneu, 2005) sebagai berikut :

Tabel 4.1 Parameter Spesimen Material Modeling.

No	Type SPSW	Spesimen	Profil	Jenis Baja	fy (Mpa)	fu (Mpa)
1	SPSW Solid (LYS) dengan RBS	SR	HBE	A572	345	450
			VBE	A572	345	450
			Plate	LYS	165	300
2	SPSW Solid (LYS) tanpa RBS	ST	HBE	A572	345	450
			VBE	A572	345	450
			Plate	LYS	165	300
3	SPSW Perforasi Circle (LYS) dengan RBS	SC	HBE	A572	345	450
			VBE	A572	345	450
			Plate	LYS	165	300
4	SPSW Perforasi Rectangle (LYS) dengan RBS	SQ	HBE	BJ 37	345	450
			VBE	BJ 37	345	450
			Plate	LYS	165	300
5	SPSW Perforasi Hexagon (LYS) dengan RBS	SH	HBE	BJ 37	345	450
			VBE	BJ 37	345	450
			Plate	LYS	165	300

Tabel 4.2 Dimensi Perforasi pada SPSW

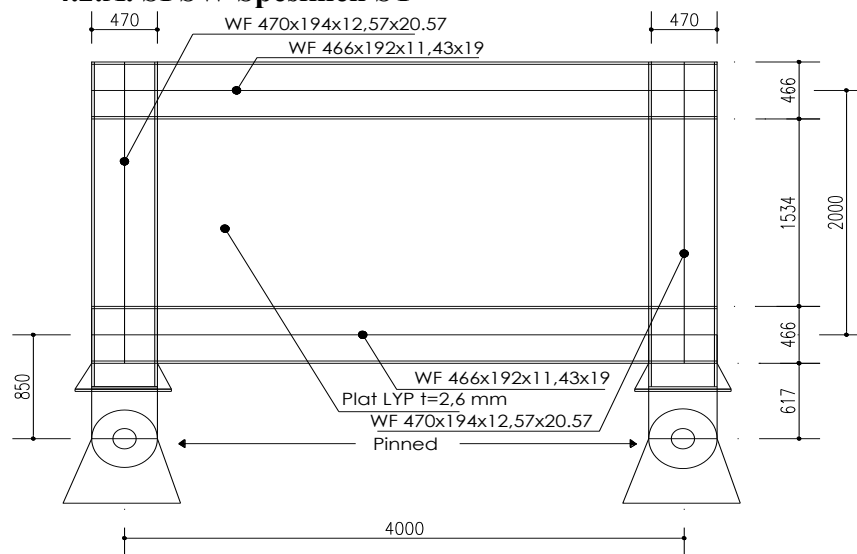
No	Spesimen	Perforasi	Jumlah(n)	Diameter (cm)	Sisi (cm)	Diagonal (cm)	Luasan (cm2)
1	SR	-	-	-	-	-	-
2	ST	-	-	-	-	-	-
3	SC	Circle	20	20	-	-	314
4	SQ	Rectangle	20	-	11	-	314
5	SH	Hexagon	20	-	-	25	314

Tabel 4.3 Profil-profil SPSW

No	Nama frame	Profil
1	HBE	WF 466 X 192 X 11,43 X 20,57
2	VBE	WF 470 X 194 X 12,57 X 20,57
3	Plat	Plat tebal 2.6 mm
4	Panel zone	Plat tebal 22.5 mm
5	Stiffener	Plat tebal 20 mm

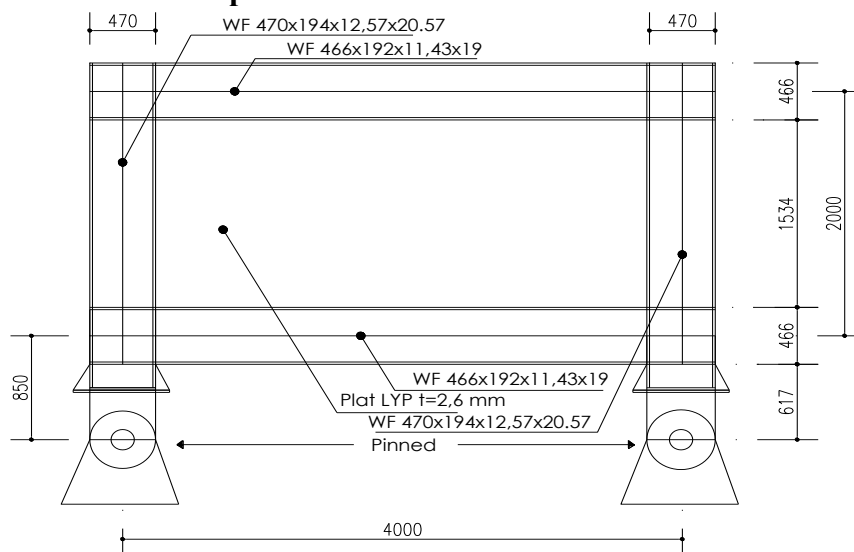
4.2. Model dan Dimensi SPSW.

4.2.A. SPSW Spesimen ST



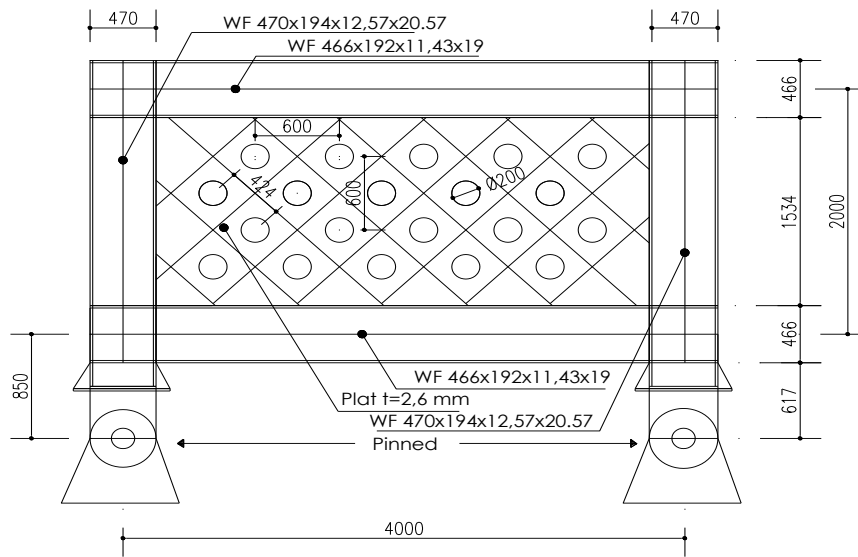
Gambar 4.1 SPSW solid (LYS) tanpa RBS.

4.2.B. SPSW Spesimen SR



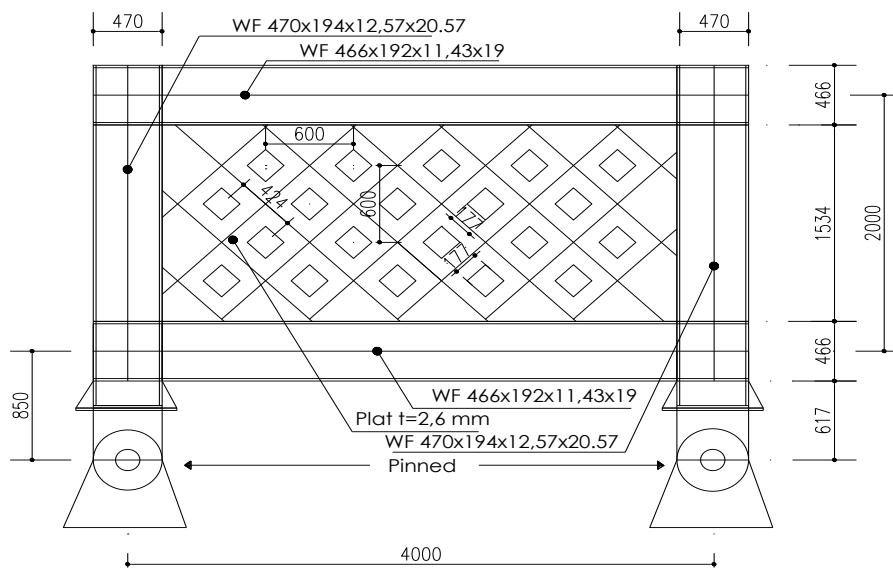
Gambar 4.2 SPSW solid (LYS) dengan RBS.

4.2.C. SPSW Spesimen SC



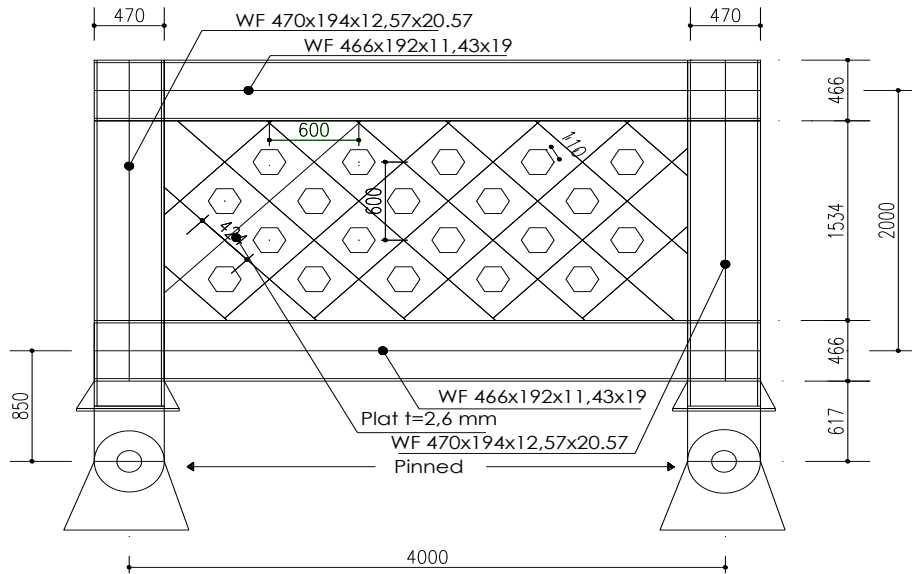
Gambar 4.3 SPSW Perforasi Circle (LYS) dengan RBS.

4.2.D. SPSW Spesimen SQ



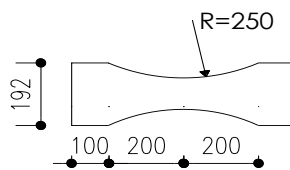
Gambar 4.4 SPSW Perforasi Rectangle (LYS) dengan RBS.

4.2.E. SPSW Spesimen SH



Gambar 4.5 SPSW Perforasi Hexagon (LYS) dengan RBS.

4.2.F. Detail RBS pada HBE SPSW



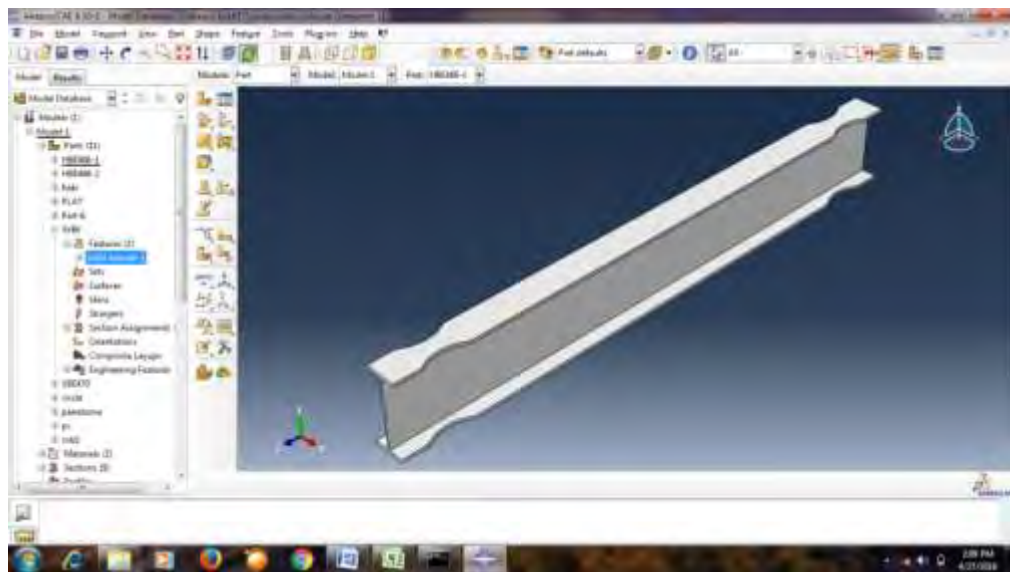
Gambar 4.6 Detail RBS pada HBE SPSW.

4.3. Permodelan Struktur SPSW pada Program Bantu Finite Element Analysis ABAQUS

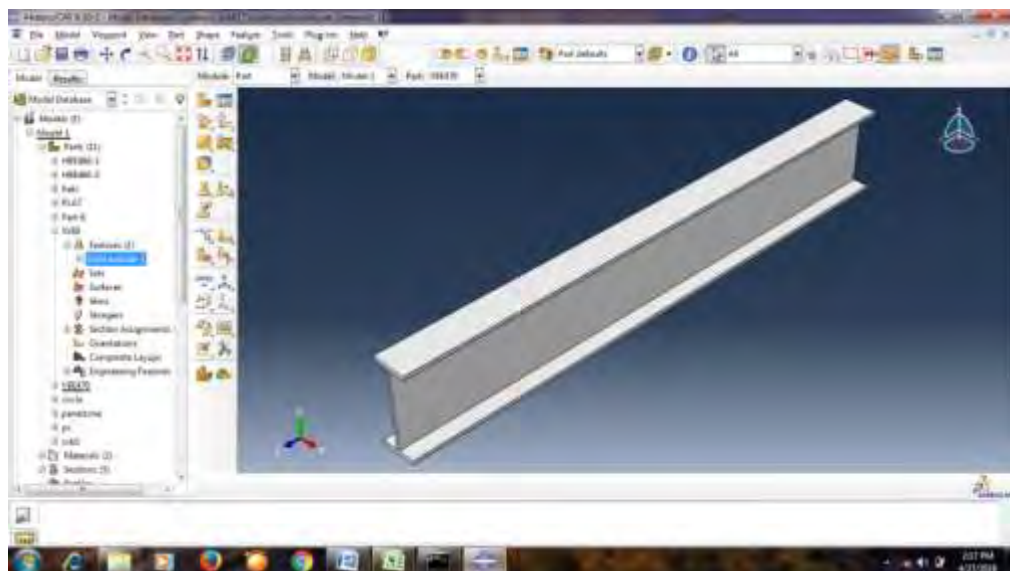
Pada penulisan kali ini akan dijelaskan langkah-langkah dalam mengerjakan/memodelkan SPSW pada program bantu *finite element analysis* ABAQUS sebagai berikut :

4.3.A. Parts

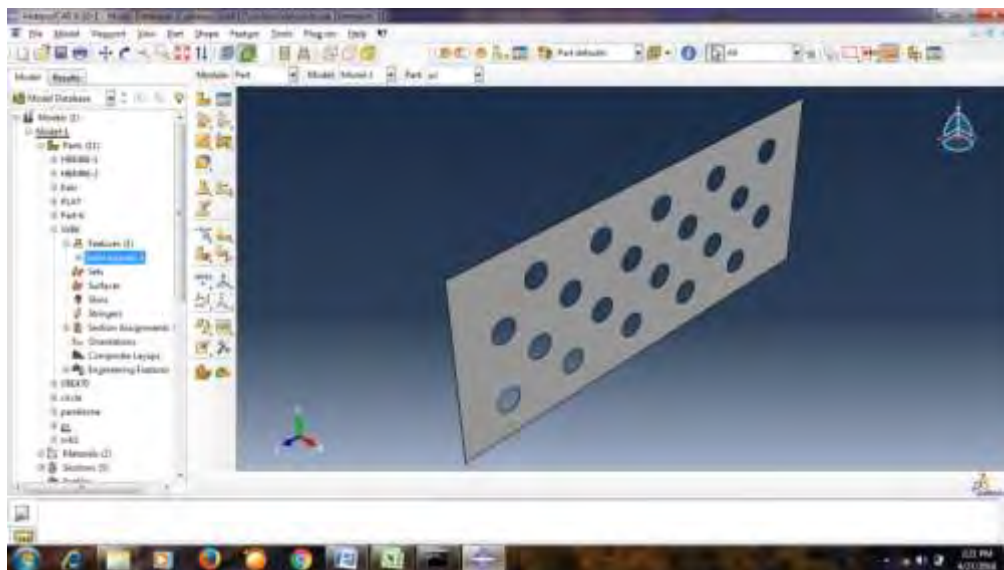
Pada tahapan Parts ini dilakukan pembuatan geometrik frame dari SPSW yang terdiri dari HBE, VBE, Plat, *Panel Zone* dan *Stiffener*.



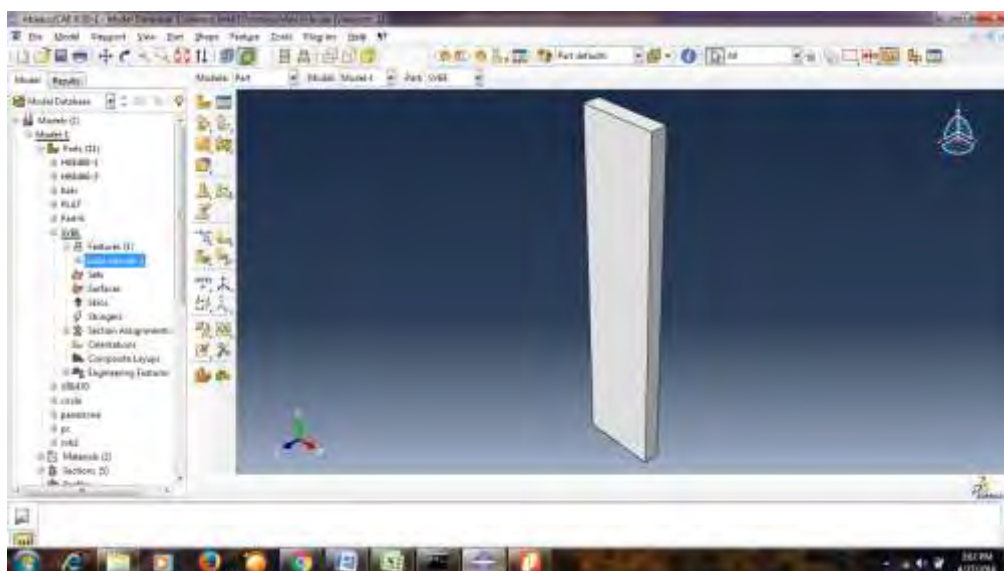
Gambar 4.7. Permodelan HBE WF 466.192. 11.20



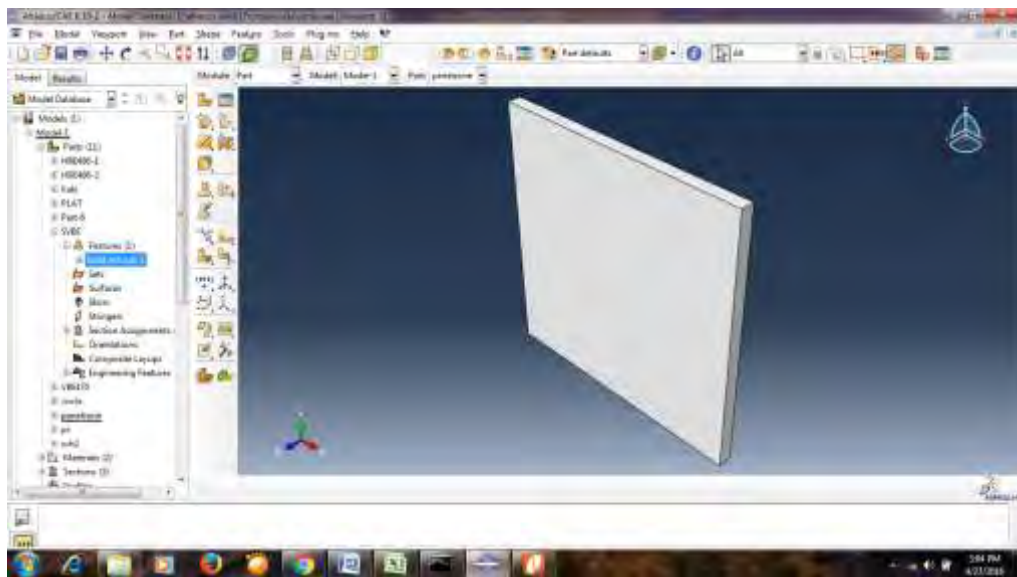
Gambar 4.8. Permodelan VBE WF 470.194.12.20



Gambar 4.9. Permodelan plat dengan perforasi.



Gambar 4.10. Permodelan *stiffener*.



Gambar 4.11. Permodelan *panel zone*.

4.3.B. Properties Material

Langkah ini merupakan penentuan jenis material yang digunakan untuk masing-masing elemen. Dengan mengisi *mass*, *density*, *elastisitas material*, dan *plasticity* (baja).

1. Mutu baja Frame yang digunakan adalah A572 Grade 50 dengan spesifikasi sebagai berikut

Density : $7.85 \text{ ton} / \text{m}^3 = 7.85 \times 10^{-5} \text{ N/mm}^3$

Modulus Young : $2.0 \times 10^5 \text{ MPa}$

Tegangan leleh : 345 MPa

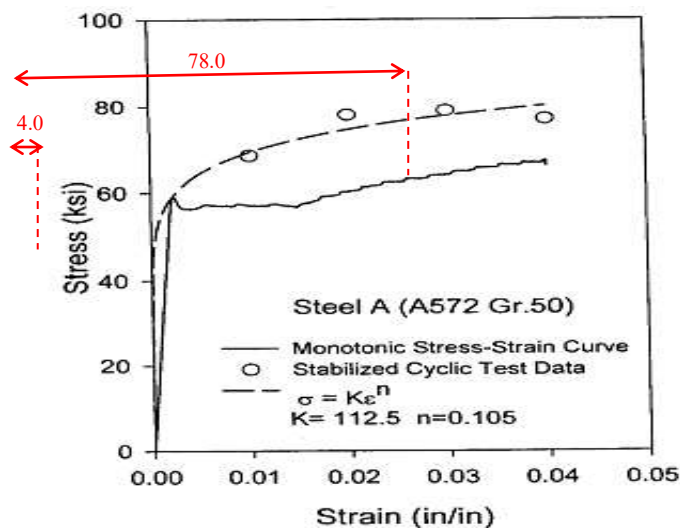
Tegangan ultimit : 450 MPa

Regangan leleh : $\frac{F_y}{E_s} = \frac{345}{2 \times 10^5} = 0.001725$

Mutu baja yang digunakan merujuk pada jurnal Berman Bruneau (2006).

Khusus untuk data regangan leleh, diperoleh dari Kaufmann (2001)

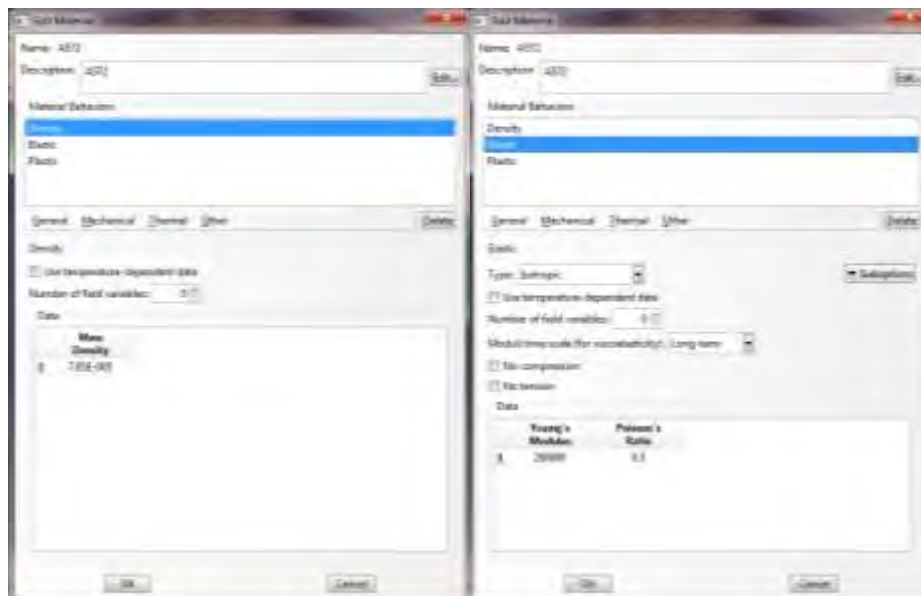
“Charasteristic and Cyclic Inelastic Strain Behavior on Properties of A572 Gr 50 and A.913 Gr. 50 Rolled Section” pada grafik *Stress–Strain* hal. 21.



Gambar 4.12. Grafik *Stress-strain* (Kaufmann, 2001)

Regangan ultimit : $\frac{78}{4} \times \frac{345}{2 \times 10^5} = 0.0336$

Sehingga pada program bantu *Finite Element Analysis* diinput sebagai berikut :



Gambar 4.13. *Input Density dan Elastic*



Gambar 4.14. *Input Plastic A572*

2. Mutu baja Plat yang digunakan adalah LYS dengan spesifikasi sebagai berikut

Density : $7.85 \text{ ton} / \text{m}^3 = 7.85 \times 10^{-5} \text{ N/mm}^3$

Modulus Young : $2.0 \times 10^5 \text{ MPa}$

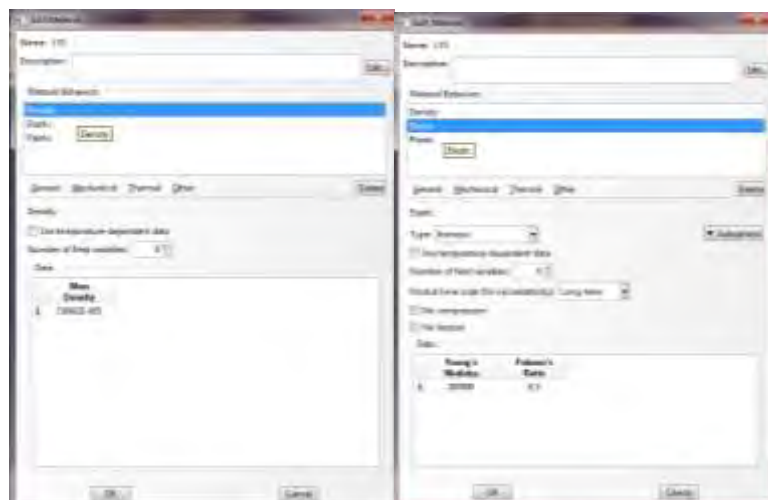
Tegangan leleh : 165 MPa

Tegangan ultimit : 300 MPa

Regangan leleh : $\frac{F_y}{E_s} = \frac{165}{2 \times 10^5} = 0.000825$

Mutu baja yang digunakan merujuk pada jurnal Berman Bruneau (2005).

Sehingga pada program bantu *Finite Element Analysis* diinput sebagai berikut :

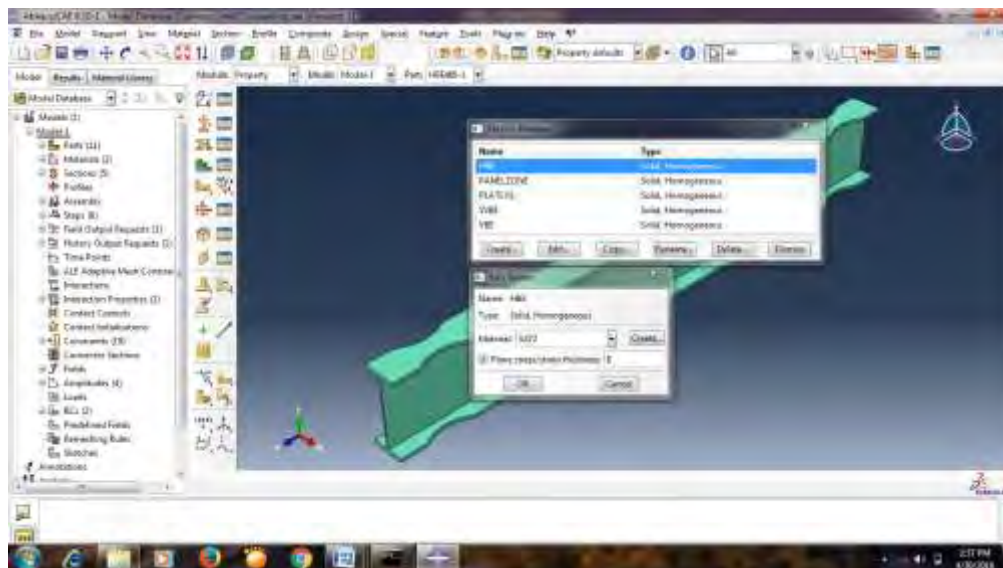


Gambar 4.15. *Input Density dan Elastic*

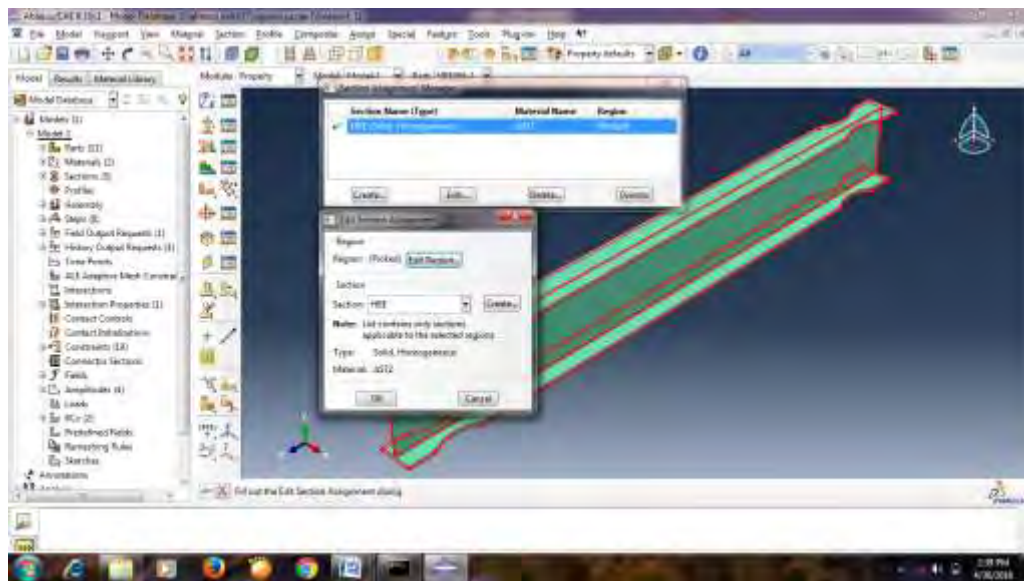


Gambar 4.16. *Input Plastic LYS*

Setelah data propertis material dimasukkan, selanjutnya yaitu menetapkan elemen yang sudah dibuat pada *section assignment manager* sesuai dengan materialnya.



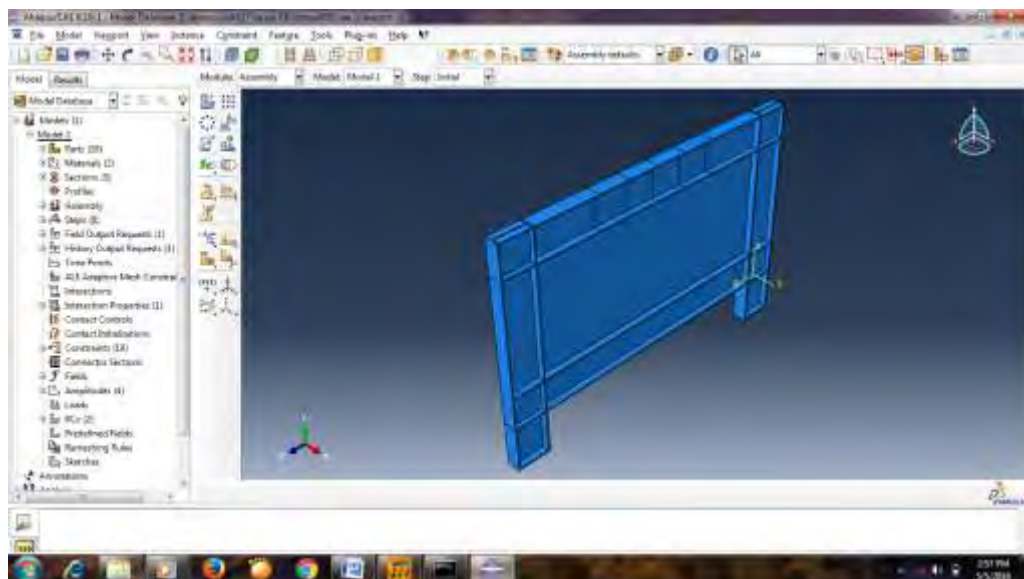
Gambar 4.17. *Section Manager*



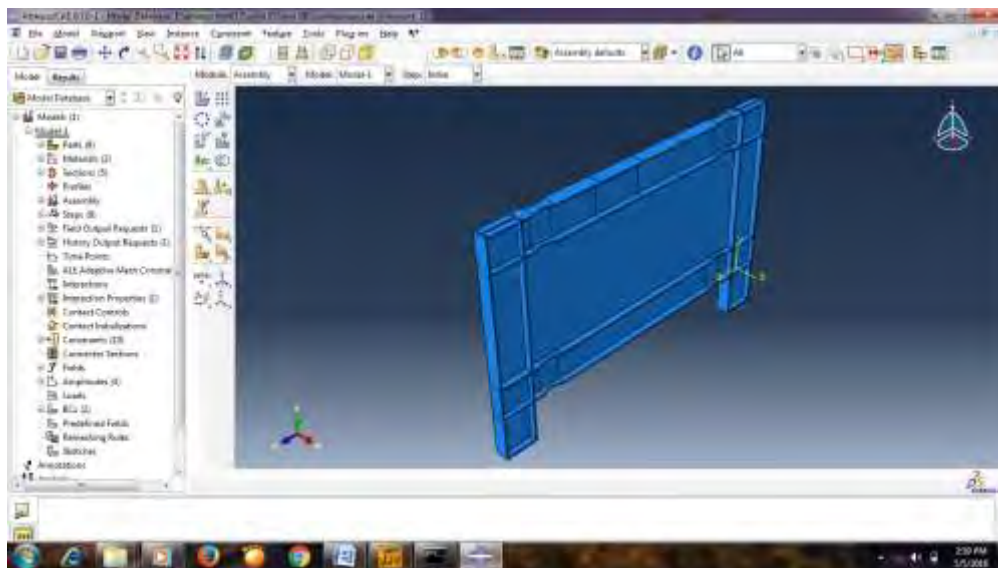
Gambar 4.18. *Section Assignment Manager*

4.3.C. Assembly

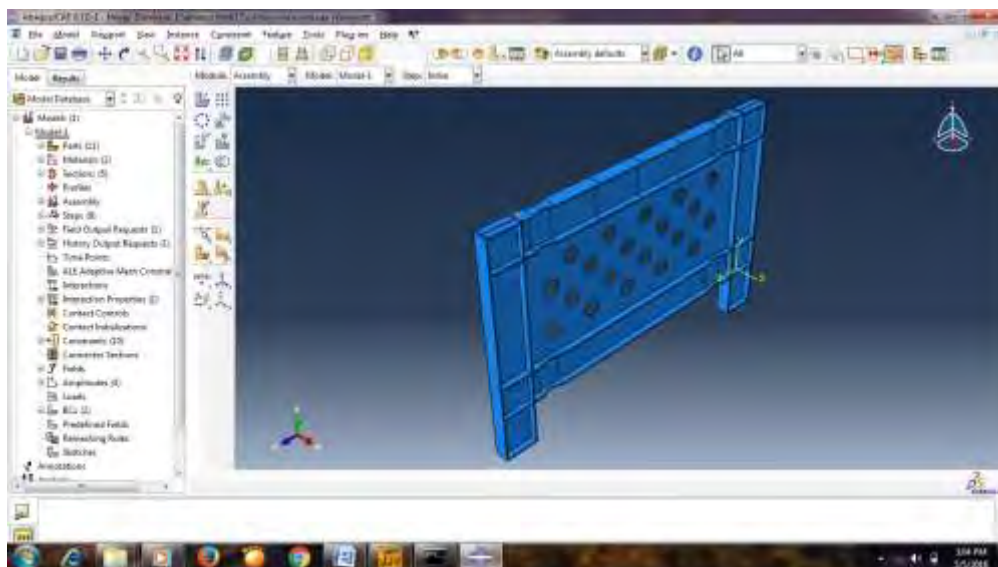
Pada tahap *Assembly* ini akan dilakukan perakitan dari Frame yang telah dibuat sebelumnya menjadi satu kesatuan system struktur SPSW.



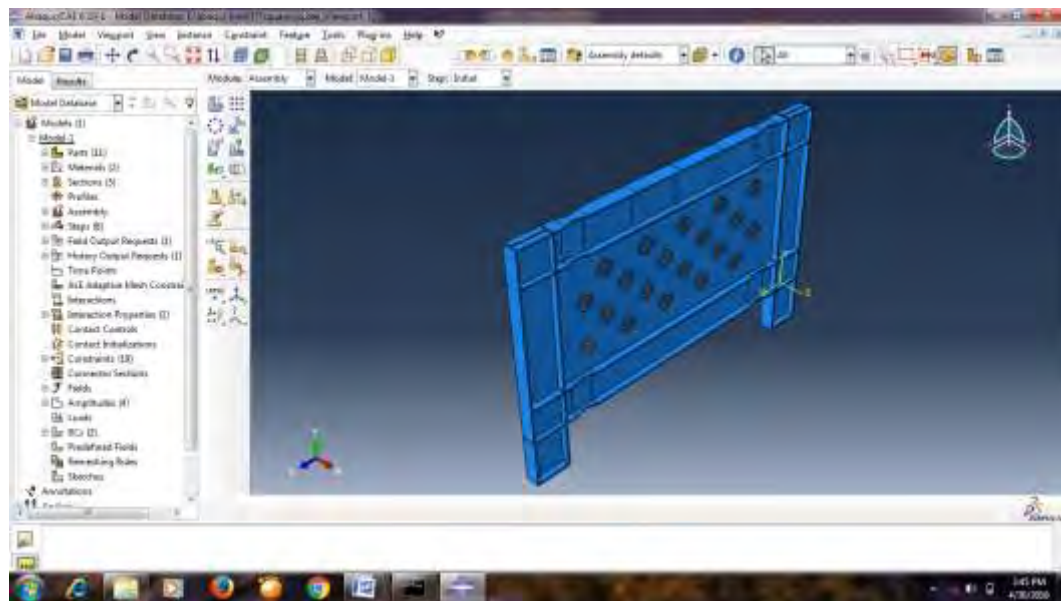
Gambar 4.19. *Assembly SPSW solid tanpa RBS.*



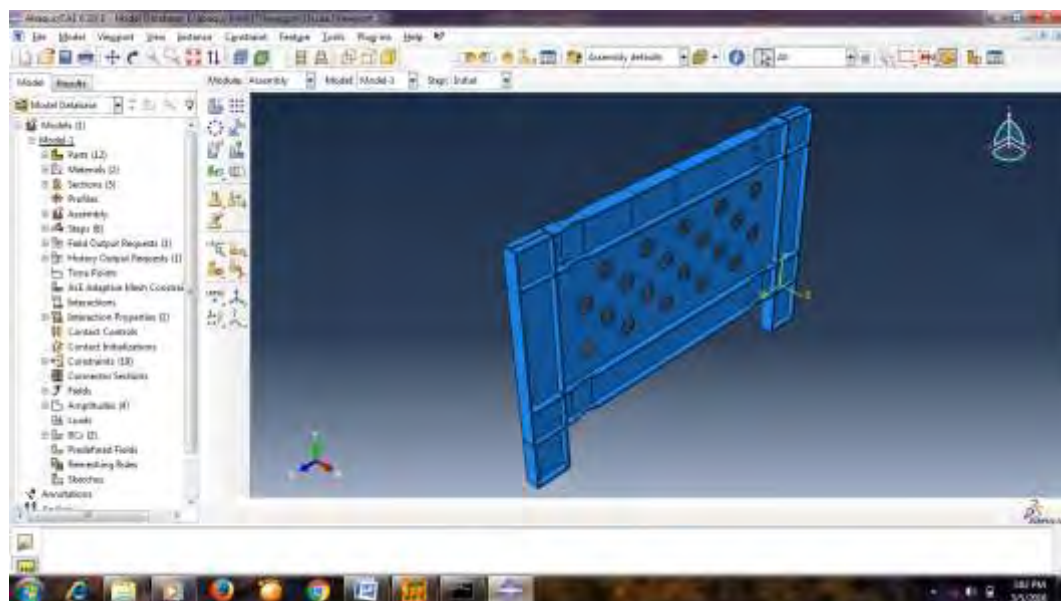
Gambar 4.20. *Assembly SPSW solid* dengan RBS.



Gambar 4.21. *Assembly SPSW perforasi circle* dengan RBS.



Gambar 4.22. *Assembly SPSW perforasi Rectangle*

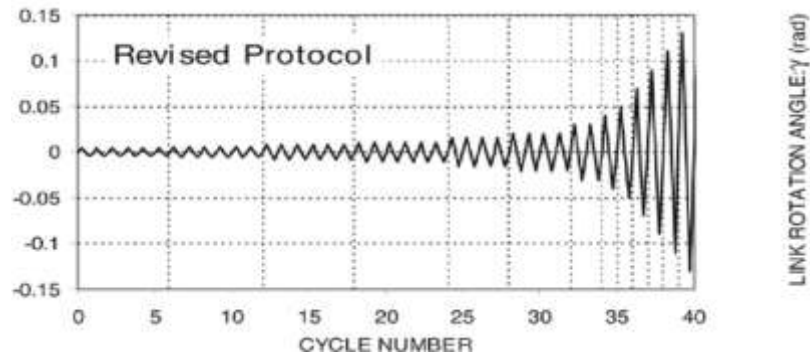


Gambar 4.23. *Assembly SPSW perforasi hexagon dengan RBS.*

4.3.D. Step

Pada tahap *Step* merupakan tahapan pengaturan beban. Pada penelitian ini digunakan 7 step. Penggunaan 7 step ini berdasarkan nilai displacement maksimum yang terjadi dari percobaan yang dilakukan oleh Berman dan Bruneau (2005) yaitu displacement sebesar 3%. Pembebanan dilakukan dengan menggunakan

kuasi statis beban siklik sesuai terapan direkomendasikan oleh Teknologi Council (ATC) memuat protokol ATC 24 (ATC, 1992).Beban yang digunakan sebagai input adalah *Displacement controll*, nilai yang diambil adalah nilai displacement dari eksperimental Berman dan Bruneau (2005)



Gambar 4.24. Grafik Loading Protocol ATC, 1992

Nilai *displacement* yang diinput ke program bantu *FiniteElementAnalysis* ditampilkan dalam format tabel sebagai berikut :

Tabel 4.4 Nilai *Displacement*.

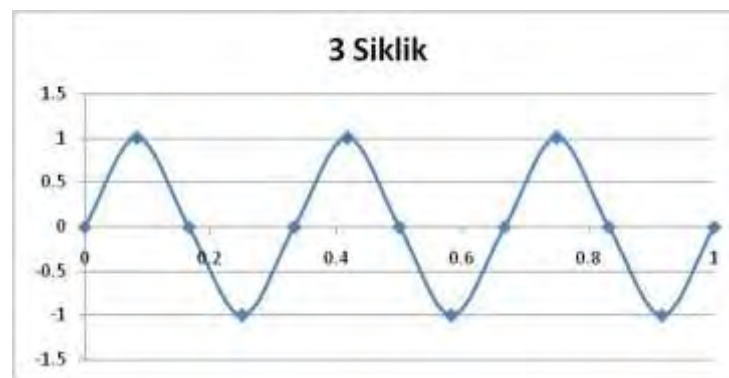
No	No. Step	tinggi	Displacement	Jumlah (siklik)	Drift(%)
1	Step-1	3083	18	3	0.6
2	Step-2	3083	28	3	0.9
3	Step-3	3083	38	3	1.2
4	Step-4	3083	48	3	1.6
5	Step-5	3083	62	3	2.0
6	Step-6	3083	76	2	2.5
7	Step-7	3083	92	2	3.0

Pada setiap step terlihat jumlah beban siklik yang akan di *input* pada *abaqus*. Sehingga pada setiap siklik, nilai *Amplitudo* yang di *input* juga berbeda-beda. Pada program *abaqus*, setiap step terdiri dari satu periode, dan setiap periode terdiri dari beberapa siklik (sesuai ketentuan), dan setiap siklik, terdiri dari empat titik untuk membentuk garis gelombang. Sehingga jika dalam satu step terdiri dari dua siklik, maka dalam setiap titik *amplitudo*, periode yang diperlukan adalah $1 \text{ step} / 2 \text{ siklik} / 4 \text{ amplitudo} = 0.125 \text{ times}$. Berikut adalah nilai *amplitudo* yang di *input* pada setiap jumlah beban siklik yang ada :

1. Untuk 3 siklus dalam 1 step.

Tabel 4.5 Nilai *Amplitudo* dalam 3 siklus tiap step nya.

no	Time	Amplitudo
1	0	0
2	0.08333	1
3	0.16667	0
4	0.25000	-1
5	0.33333	0
6	0.41667	1
7	0.50000	0
8	0.58333	-1
9	0.66667	0
10	0.75000	1
11	0.83333	0
12	0.91667	-1
13	1.00000	0

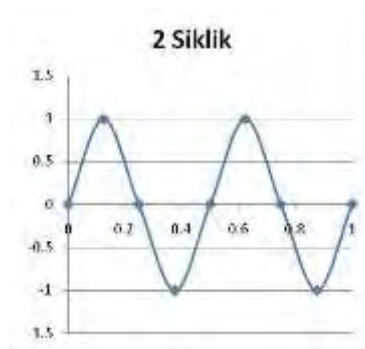


Gambar 4.25. *Grafik Amplitudo* 3 siklus per step

2. Untuk 2 siklus dalam 1 step.

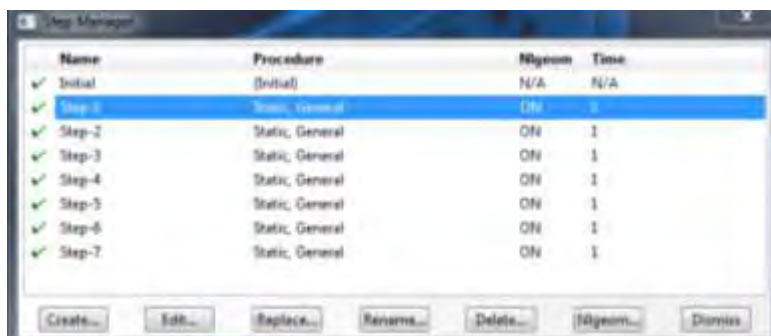
Tabel 4.7 Nilai *Amplitudo* dalam 2 siklus tiap step nya.

Time	Amplitudo
0.0000	0
0.1250	1
0.2500	0
0.3750	-1
0.5000	0
0.6250	1
0.7500	0
0.8750	-1
1.0000	0



Gambar 4.26. *Grafik Amplitudo 2 siklik per step*

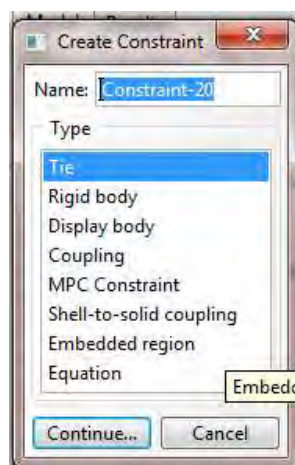
Langkah selanjutnya adalah menginput step pada abaqus sesuai dengan jumlah setpnya (Step Manager).



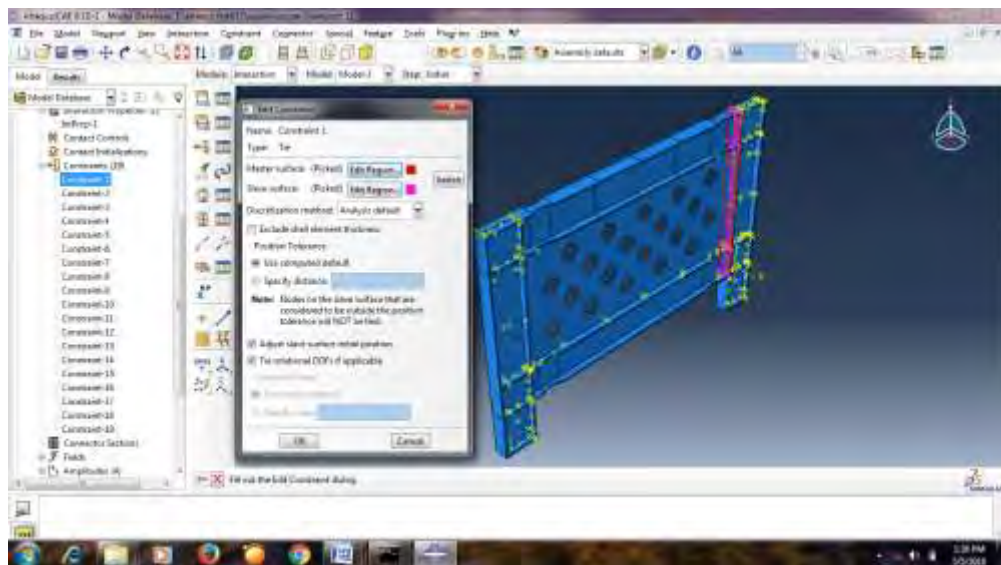
Gambar 4.27. *Input step pada Abaqus.*

4.3.E. Interaction

Pada langkah ini akan dilakukan connection antar profil HBE, VBE, Plat, Stiffener, dan Panel zone menggunakan fasilitas *Constrain*.



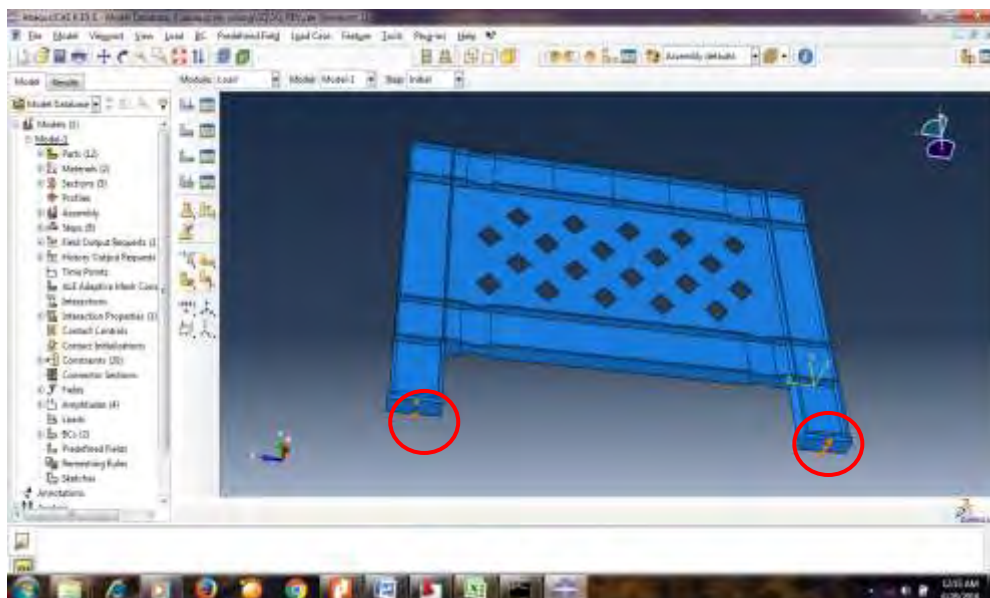
Gambar 4.28. *Create Constraint pada Abaqus.*



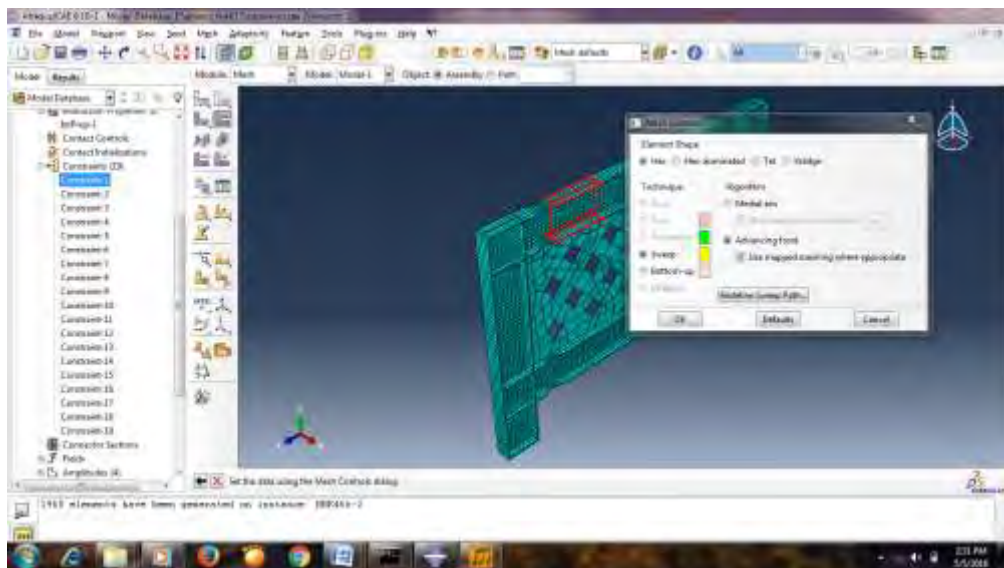
Gambar 4.29. *Edit Constraint* pada Abaqus.

4.3.F. Load

Pada langkah *Load* ini adalah untuk memberikan beban *displacement* dan *initial* / perletakan. Pada perletakannya akan didesain perletakan Pin sesuai dengan percobaan yang dilakukan oleh Berman dan Bruneau (2005). Beban *displacement* akan diletakkan pada tengah dari HBE atas dengan besaran yang telah ditentukan diatas.



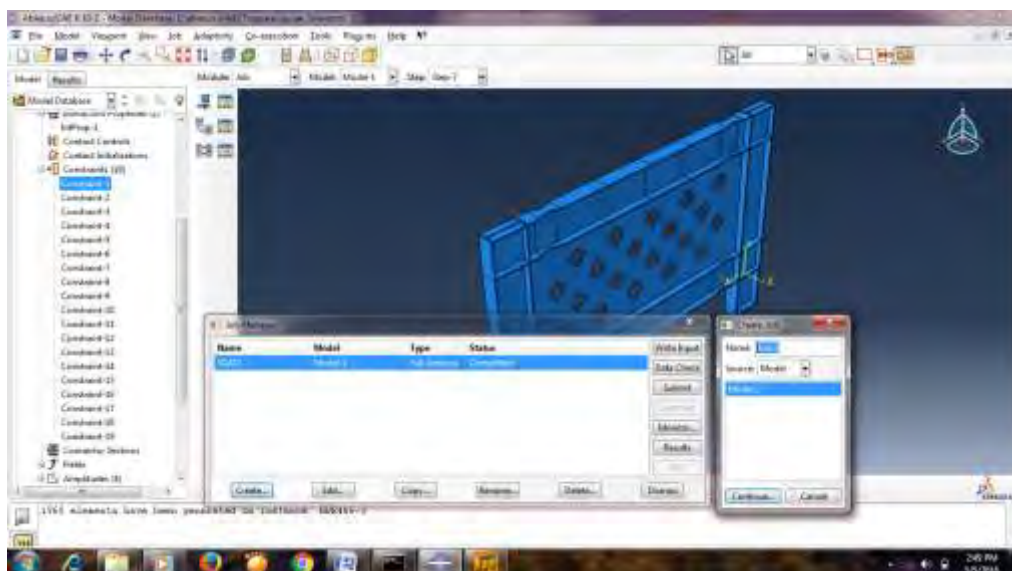
Gambar 4.30. *Create Initial* pada Abaqus.



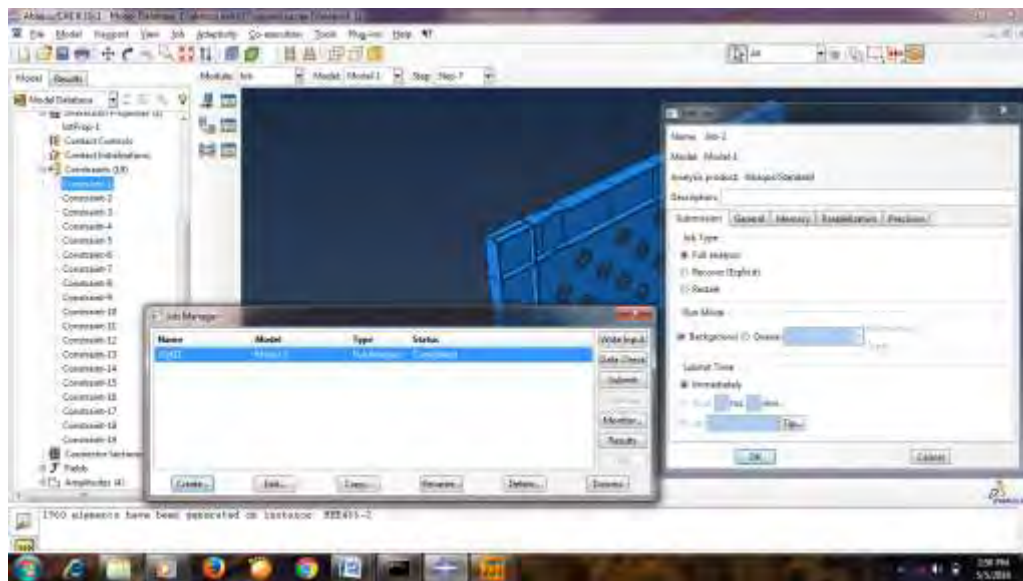
Gambar 4.33. Mesh Control dengan Hex, Sweep advancing front.

4.3.H. Job

Pada tahapan job ini didini akan dilakukan pengaturan proses untuk *Running programs*. Dalam *processing* ini akan didapat gaya dalam yang terjadi pada elemen yang ditinjau untuk masing-masing *spesimen*. Untuk melihat gaya-gaya dalam pada permodelan terdapat pada modul *Visualization*.



Gambar 4.34. Job manager, Create Job.



Gambar 4.35. Job manager, edit Job

Dari setiap langkah dan tahapan pemodelan diatas akan didapat output dari setiap *specimen*. Hasil dari *output* program akan dianalisa pada bab berikutnya.

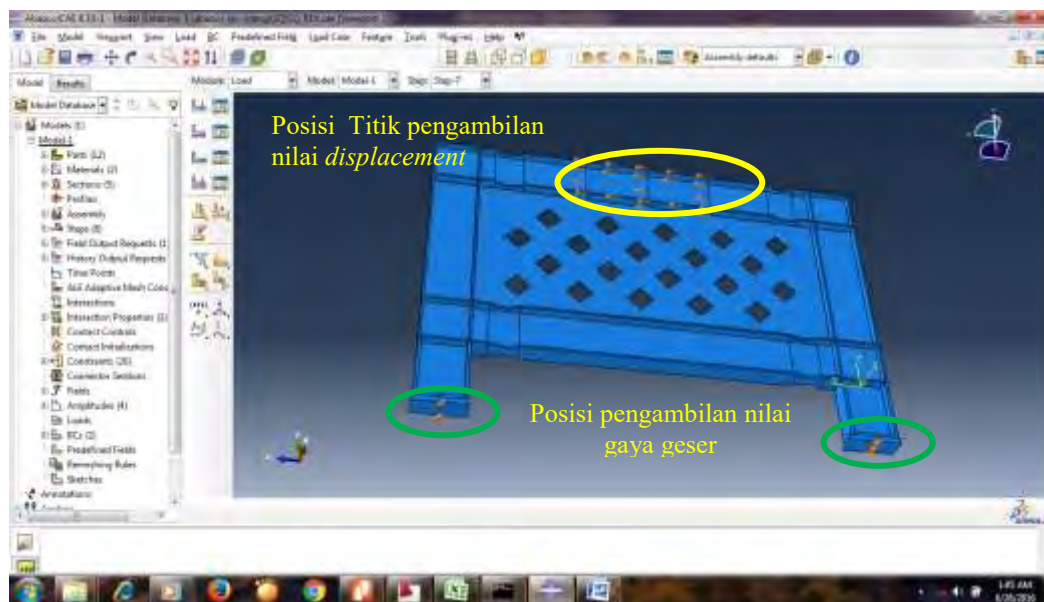
BAB 5

ANALISA HASIL

Hasil yang didapat dari program *Finite Element Analysis* digunakan untuk mendapatkan kurva *hysteretis*, *load carrying capacity*, *failure modes*, tegangan-regangan, *economic performance*, *ductility* dan *energy disipation* pada masing-masing *specimen*. Terlebih dahulu dilakukan validasi dari hasil kurva *hysteretis* dengan metode *hand calculation* untuk mencari gaya geser maksimum (V_{max}) yang mengacu pada persamaan dari hasil penelitian dari Berman dan bruneau (2005).

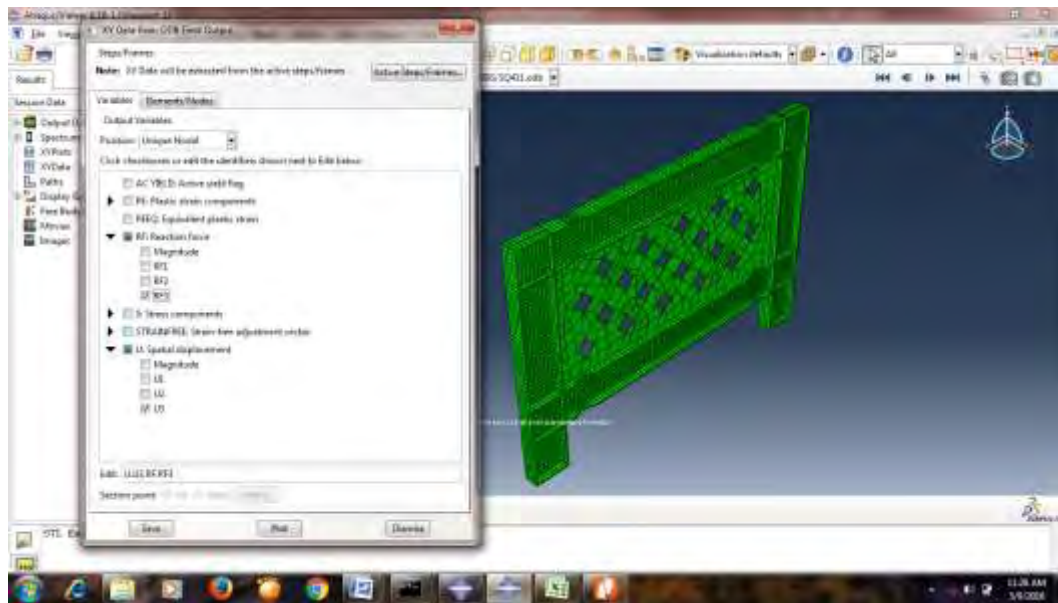
5.1. Pengambilan hasil analisa dari Abaqus untuk kurva *hysteretis*

Cara pengambilan data untuk kurva *hysteretis* adalah dengan mengkombinasikan nilai *displacement* sebagai sumbu-x, sedangkan sumbu-y berisi data reaksi perletakan pada pangkal VBE.



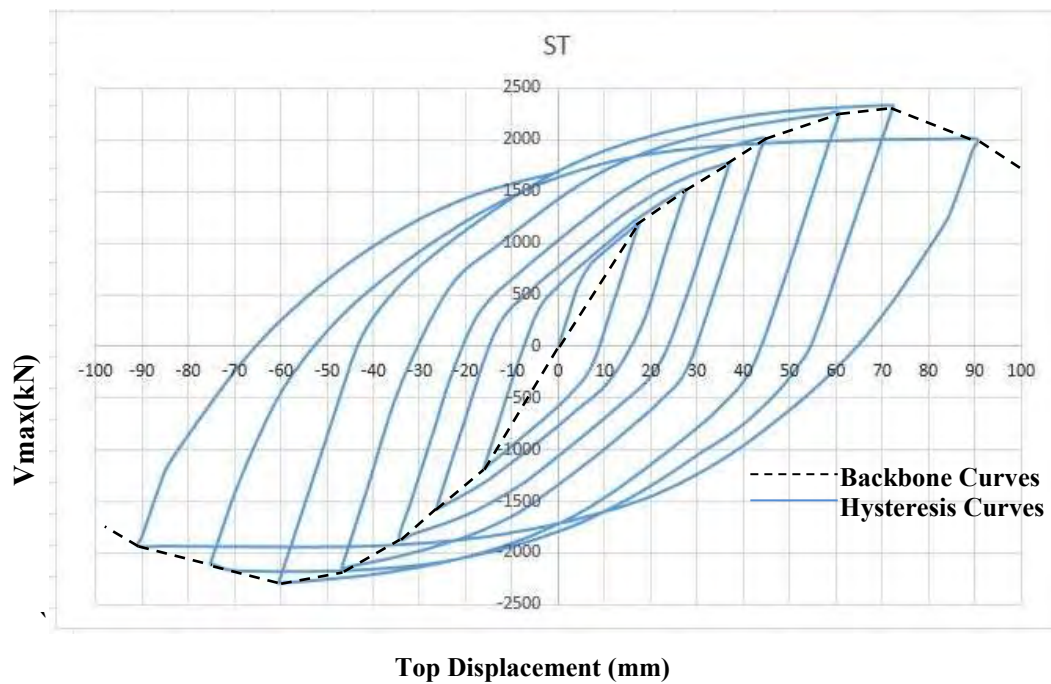
Gambar 5.1 Posisi pengambilan data sumbu-x displacement dan sumbu-y gaya geser pada perletakan.

Perintah untuk pengambilan data pada program bantu FEA adalah dengan memilih menu *CreateXYdata>ODBFieldOutput>Unique Nodal >* Pilih data yang diperlukan. Data yang diambil adalah data *displacement* arah sumbu-x, beserta gaya geser yang bekerja sumbu-y. Pada SPSW gaya geser maksimum berada di perletakan.

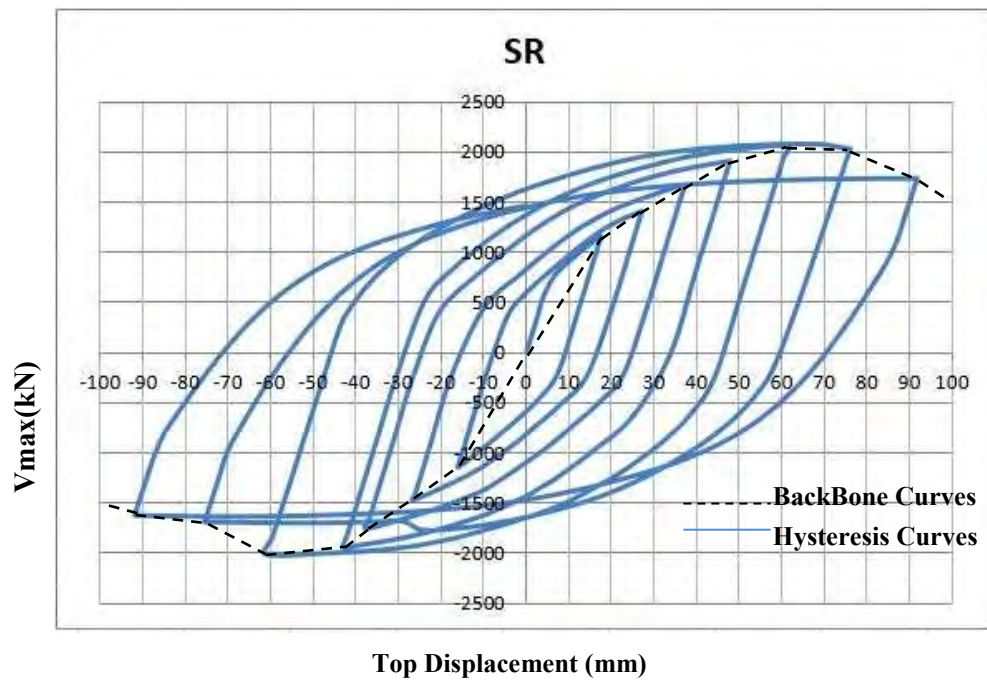


Gambar 5.2 XY data from ODB field output

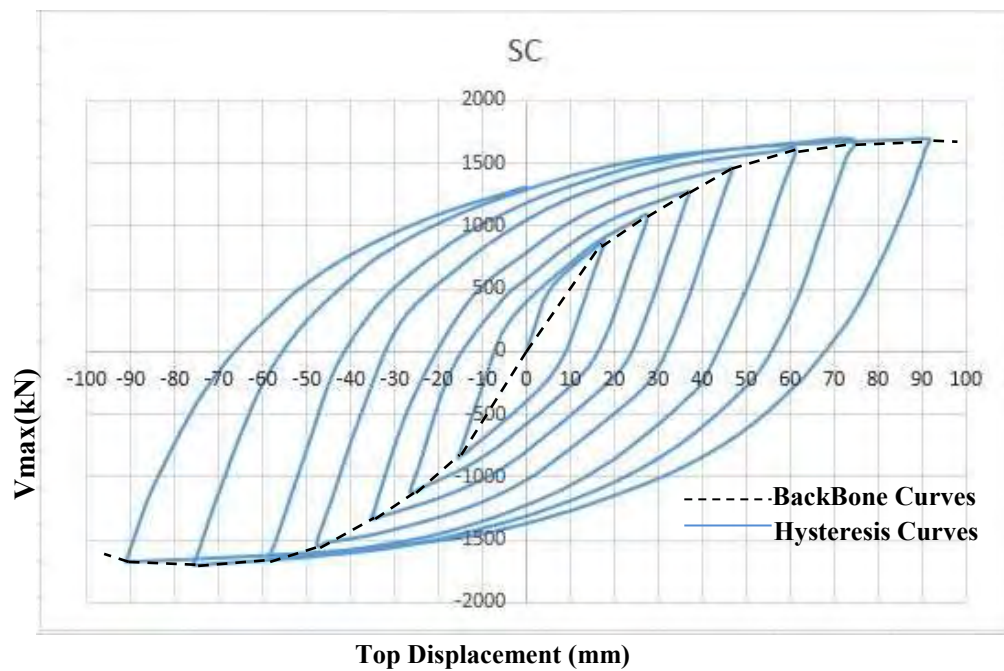
Dari setiap *specimen* model SPSW didapatkan grafik hysteresis sebagai berikut:



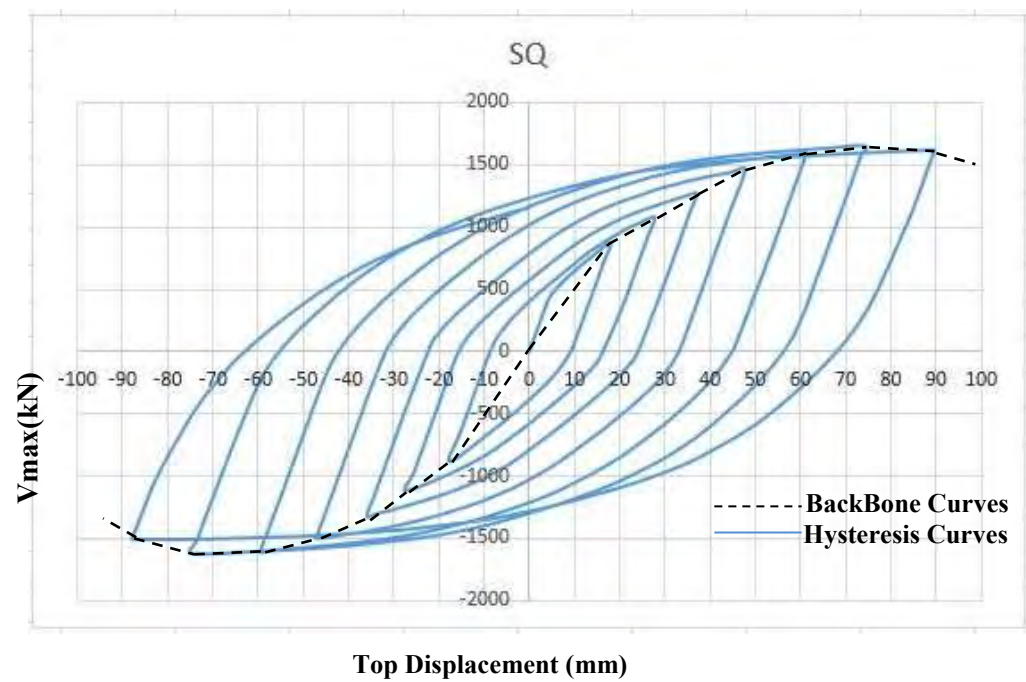
Gambar 5.3 Solid Tanpa RBS (ST) Hysteresis Curves



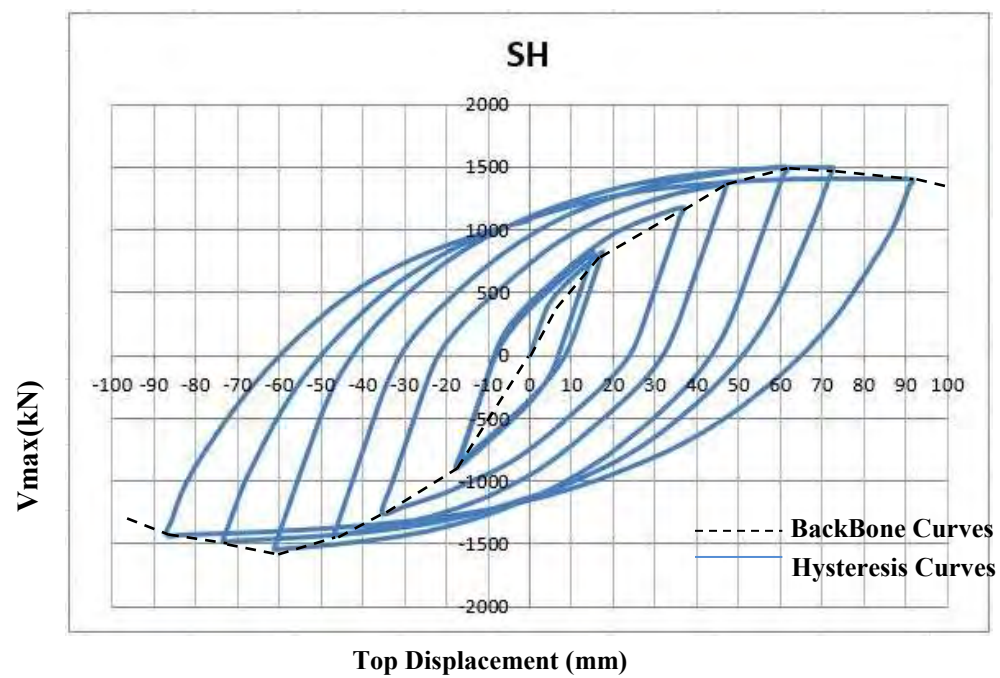
Gambar 5.4 Solid dengan RBS (SR) Hysteresis Curves



Gambar 5.5 Perforated Circle (SC) Hysteresis Curves



Gambar 5.6 Perforated Rectangle panel (SQ) Hysteresis Curves

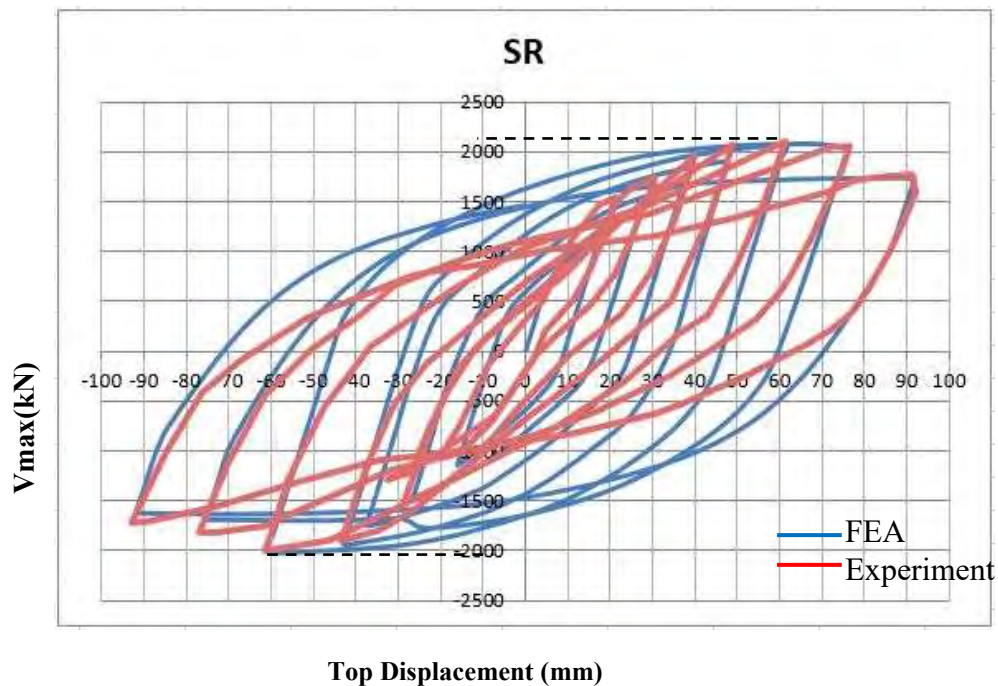


Gambar 5.7 Perforated Hexagon panel (SH) Hysteresis Curves

5.2. Validasi hasil *finite element analysis*

Dalam penelitian menggunakan program bantu *Finite Element Analysis* (Abaqus) ini dilakukan validasi hasil untuk memastikan tingkat keakuratan hasil dari output *Finite Element Analysis* dengan percobaan yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya dan juga dilakukan *hand calculation* sebagai pembanding dari hasil tersebut. Dalam hal ini ada 3 model spesimen SPSW yang dilakukan validasi. Validasi dengan menggunakan hasil *Hysteresis Curves* menurut penelitian Berman dan Bruneau (2005) ada 2 spesimen yaitu SPSW *Specimen Solid dengan RBS (SR)* dan SPSW *Specimen Perforated Circle (SC)*. Validasi dengan menggunakan *hand calculation* untuk SPSW *Specimen Solid* tanpa RBS (ST).

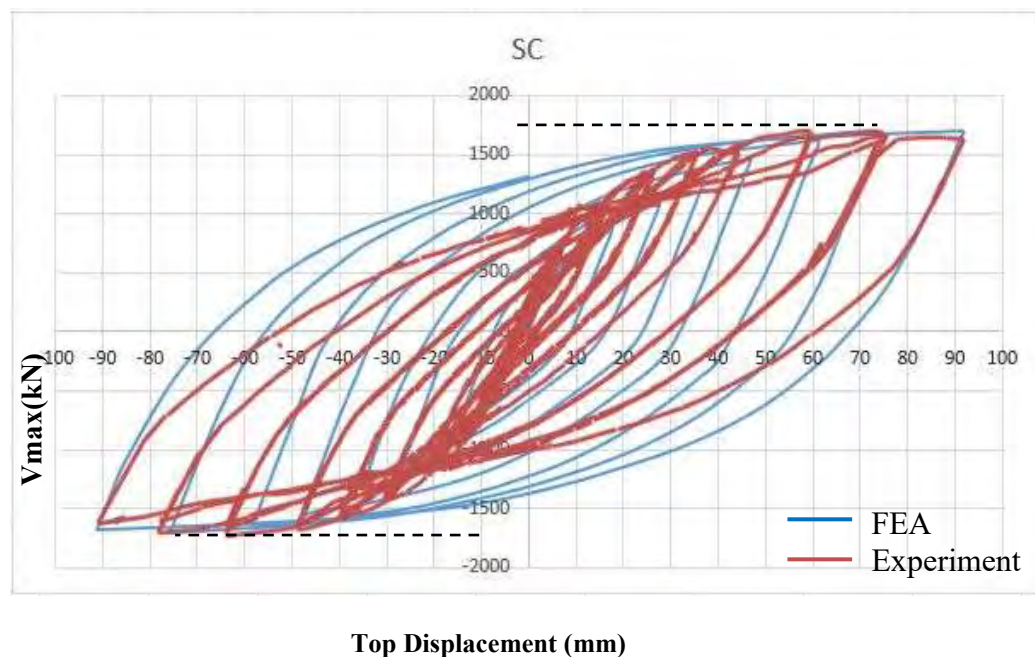
5.2.1. Validasi berdasarkan percobaan Berman dan Bruneau (2005)



Gambar 5.8 *Hysteresis Curves Finite Element Analysis vs Percobaan specimen (SR)*

Dari grafik *hysteresis curves* diatas menunjukkan bahwa Vmax hasil percobaan adalah 2100 kN untuk positif dan pada hasil *finite element analysis* adalah 2076 kN untuk positif. Vmax hasil percobaan adalah -2040 kN untuk negative dan pada hasil *finite element analysis* adalah -2017 kN untuk negatif.

Hal ini menunjukkan tingkat akurasi yang baik dalam hal V_{max} dengan selisih 34 kN untuk positif dan 23 kN untuk negatif, apabila dijadikan prosentase adalah 1,64 % untuk positif dan 1,11 % untuk negatif. Hasil kurva hysteresis secara keseluruhan dari finite elemen lebih besar dikarenakan pada analisa tersebut menggunakan komputer dengan input parameter yang telah ditentukan, sedangkan pada eksperimen banyak hal yang mempengaruhi selama proses percobaan berlangsung.



Gambar 5.9 *Hysteresis Curves Finite Element Analysis vs Percobaan specimen (SC)*

Dari grafik *hysteresis curves* diatas menunjukkan bahwa V_{max} hasil percobaan adalah 1750 kN dan pada hasil *finite element analysis* adalah 1691 kN untuk positif. V_{max} hasil percobaan adalah -1720 kN untuk negatif dan pada hasil *finite element analysis* adalah -1684 kN untuk negatif. Hal ini menunjukkan tingkat akurasi yang baik dalam hal V_{max} dengan selisih 61 kN untuk positif dan 36 kN untuk negative, apabila dijadikan prosentasi adalah 3,49 % untuk positif dan 2,14 % untuk negatif. Hasil kurva hysteresis secara keseluruhan dari *finite element* lebih besar dikarenakan pada analisa tersebut menggunakan komputer dengan input parameter yang telah ditentukan, sedangkan pada eksperimen banyak hal yang mempengaruhi selama proses percobaan berlangsung.

5.2.2 Validasi hasil *finite element analysis* dengan *manual*

Pada studi ini juga dilakukan validasi hasil analisa oleh program bantu dengan *hand calculation*. Specimen yang digunakan adalah SPSW panel solid tanpa RBS (ST). Dimana dalam prosesnya mengacu pada persamaan/rumus-rumus perhitungan dari peneliti sebelumnya, dalam hal ini adalah persamaan yang dibuat oleh Berman dan Bruneau (2005). Perhitungan ini dijadikan perbandingan dari analisa oleh program bantu komputer.

$$V_{max} = \frac{1}{2} \cdot F_y \cdot t \cdot L \cdot \sin 2\alpha + \frac{4 \cdot M_p}{h}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{1 + \frac{t \cdot L}{2A_c}}{1 + t \cdot h \left(\frac{1}{A_b} + \frac{h^3}{360 I_c L} \right)} \right)^{1/4}$$

Dimana :

V_{max} = gaya geser maksimum

F_y = mutu baja

t = tebal plat baja

L = lebar SPSW

α = sudut *collapse mechanism*

M_p = momen plastis terkecil antara VBE dan HBE

h = tinggi SPSW

A_c = luas penampang dari VBE

A_b = luas penampang dari HBE

I_c = momen inersia VBE

Data-data SPSW

F_y = 165 Mpa

t = 2,6 mm

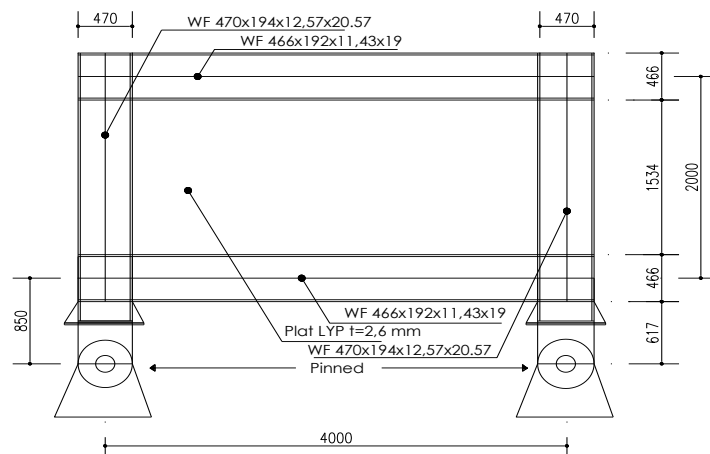
L = 4000 mm

M_p = 793741500 N

h = 2000 mm

A_c = 12920 mm²

A_b = 12004 mm²



$$I_c = 472615667 \text{ mm}^4$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{1 + \frac{2,6 \cdot 4000}{2 \cdot 12920}}{1 + 2,6 \cdot 2000 \left(\frac{1}{12004} + \frac{2000^3}{360 \cdot 472615667 \cdot 4000} \right)} \right)^{1/4}$$

$$\alpha = 44,55^\circ$$

$$V_{max} = \frac{1}{2} \cdot 165 \cdot 2,6 \cdot 4000 \cdot \sin 2 \cdot 44,55 + \frac{4 \cdot 793741500}{2000}$$

$$V_{max} = 2445377 \text{ N}$$

$$V_{max} = 2445,4 \text{ kN}$$

Selisih(A) V_{max} pemodelan dan V_{max} hand calculation adalah

$$A = V_{max} \text{ hand calculation} - V_{max} \text{ pemodelan}$$

$$= 2445,4 \text{ kN} - 2339 \text{ kN}$$

$$= 106,4 \text{ kN}$$

$$A\% = \frac{106,4}{2339} \times 100\%$$

$$= 4,53\%$$

Dari hasil perhitungan *hand calculation* diatas menunjukkan bahwa gaya geser maksimum (V_{max}) adalah 2445,4 kN dan pada hasil *finite element analysis* adalah 2339 kN. Hal ini menunjukkan tingkat akurasi yang baik dalam hal V_{max} dengan selisih 106,4 kN atau 4,53 %.

5.3. Analisa hasil *finite element analysis*

5.3.1. Perbandingan *load-carrying capacity*

Pada analisa *load-carrying capacity* SPSW ini dibandingkan hasil dari gaya geser puncak (V_{max}) pada struktur SPSW akibat dari beban siklik. Mengacu pada hasil *hysteresis curves* yang telah ditampilkan sebelumnya maka ditabelkan hasil perbandingannya sebagai berikut.

Tabel 5.1 Perbandingan perilaku *load-carrying capacity*

No	Specimen	V _{max} (kN)	$\frac{V_{max}}{V_{max} (SR)}$
1	ST	2339	1.126
2	SR	2076	1
3	SC	1691	0.814
4	SQ	1647	0.793
5	SH	1497	0.721

Dari hasil perbandingan diatas mengindikasikan bahwa efek dari perforasi SPSW memang terjadi penurunan tetapi tidak signifikan. Hal ini sesuai dengan harapan yang ingin dicapai. Terlihat efek dari perforasi penurunannya hanya pada kisaran 18,6 % , ntuk specimen tipe ST menunjukkan hasil yang lebih besar sekitar 12,6% dari tipe SR dan merupakan tertinggi hal ini dikarenakan tipe ST yang notabennya solid panel dan tanpa RBS sehingga bisa memaksimalkan hasil dari *load-carrying capacity*. Dari kelima specimen diatas, V_{max} terendah adalah specimen SH.

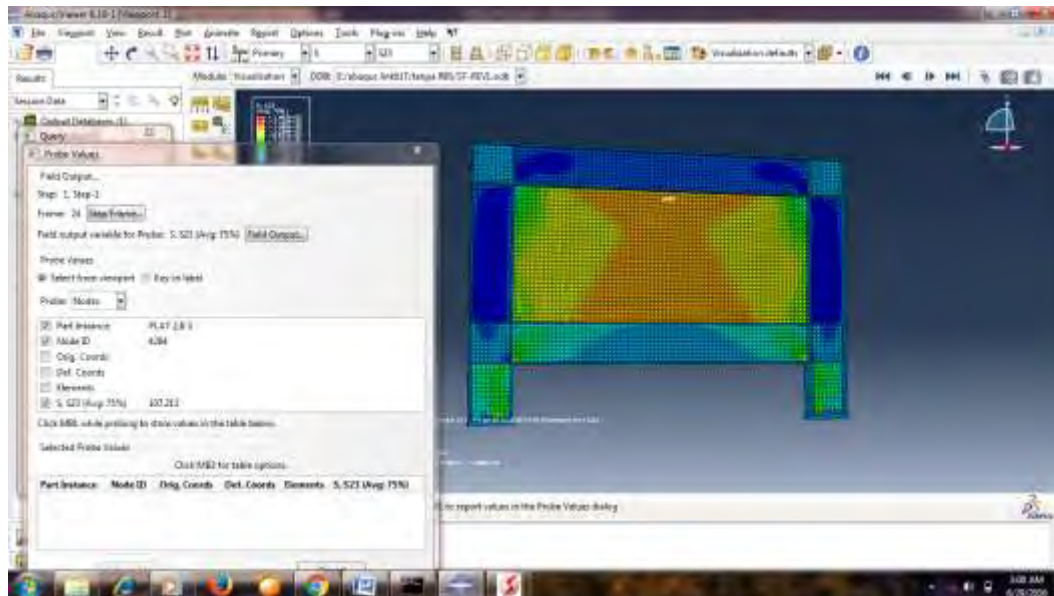
5.3.2. Perbandingan *economic performance*

Dalam sub bab ini dibandingkan secara *economic performance* yaitu dilihat dari sisi fungsi dan kegunaan yang berhubungan dengan pekerjaan lain baik pekerjaan arsitektural maupun utilitas mechanical, electrical ,dan plumbing. Tidak bisa dipungkiri bahwa dalam gedung bertingkat pasti adanya instalasi pendukung contohnya instalasi MEP yang mana juga berkaitan dengan konsep arsitektural sehingga apabila ada SPSW yang menghalangi maka dilakukan pembelokan ke tempat lain dan pastinya menambah biaya proyek. Dengan adanya perforasi memungkinkan pipa plumbing, pipa hydrant, dan kabel-kabel bisa langsung menembusnya tanpa adanya putar ke lokasi lain. Selain itu juga dari sisi arsitektural apabila dilakukan expose maka terlihat lebih baik estetikanya dibandingkan dengan polos/solid panel. Tipe SPSW specimen SC, SQ, dan SH lebih unggul dari pada tipe ST dan SR.

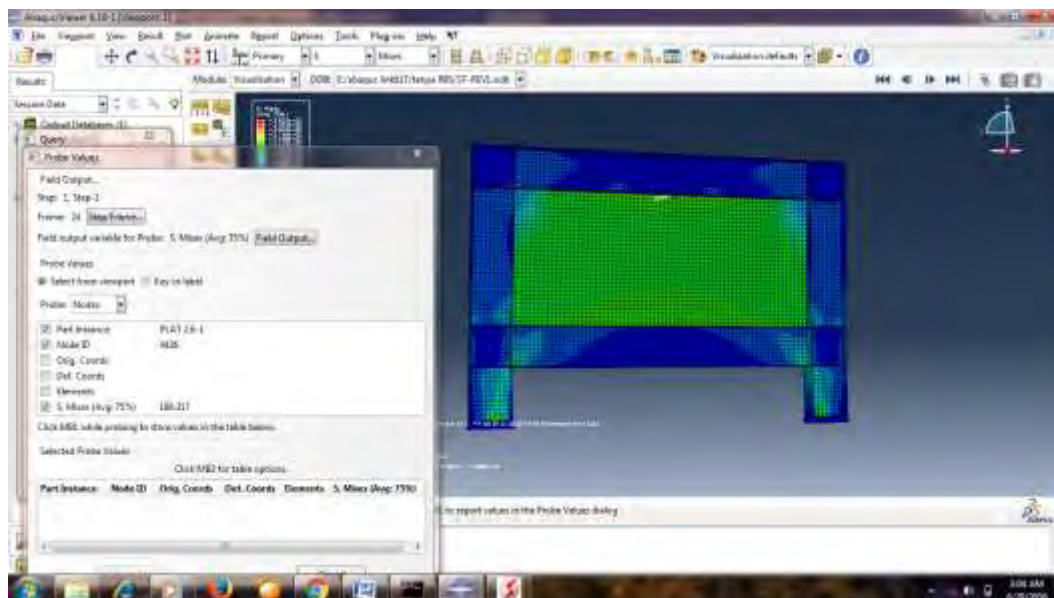
5.3.3. Perbandingan *failure modes*

Selama proses pembebanan berlangsung panel/plat baja dari SPSW mengalami deformasi, perilaku inilah yang disebut dengan *failure mode*. Mutu

baja yang digunakan adalah $f_y = 345$ Mpa untuk VBE dan HBE , $f_y = 165$ Mpa untuk panel baja.Ultimate nya adalah $f_u = 450$ MPa untuk HBE dan VBE, 300 Mpa untuk panel baja.Untuk mutu tegangan gesernya adalah $0,6f_y$ sehingga maks tegangan geser untuk HBE dan VBE adalah 207 Mpa, untuk panel baja adalah 99 Mpa. Dalam hal ini ditunjukkan perilaku SPSW pada setiap step yang ditampilkan dalam gambar berikut ini.

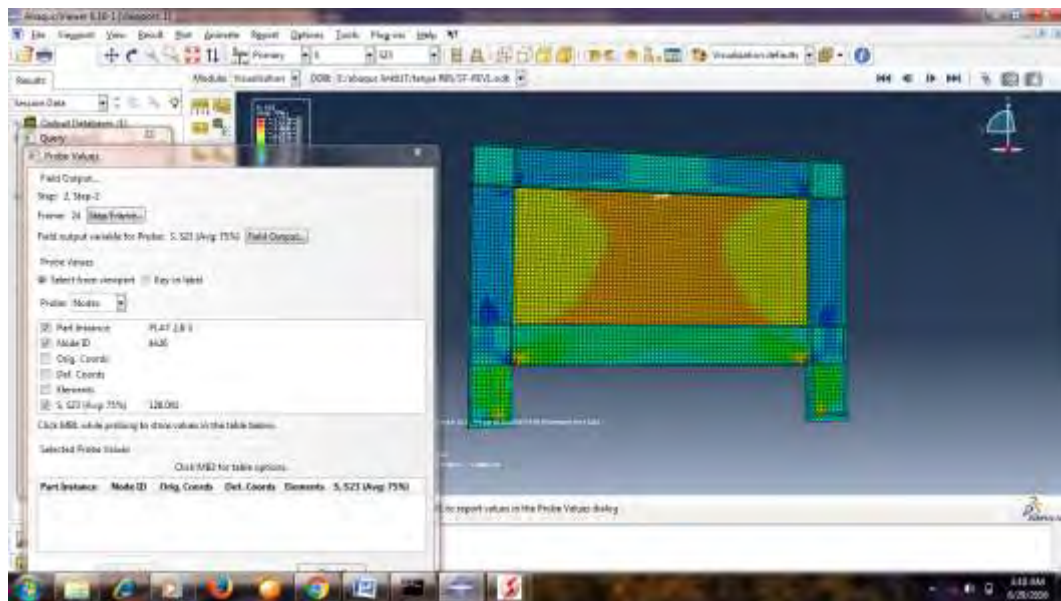


Gambar 5.10 Step 1 kontur tegangan S_{23} (geser)

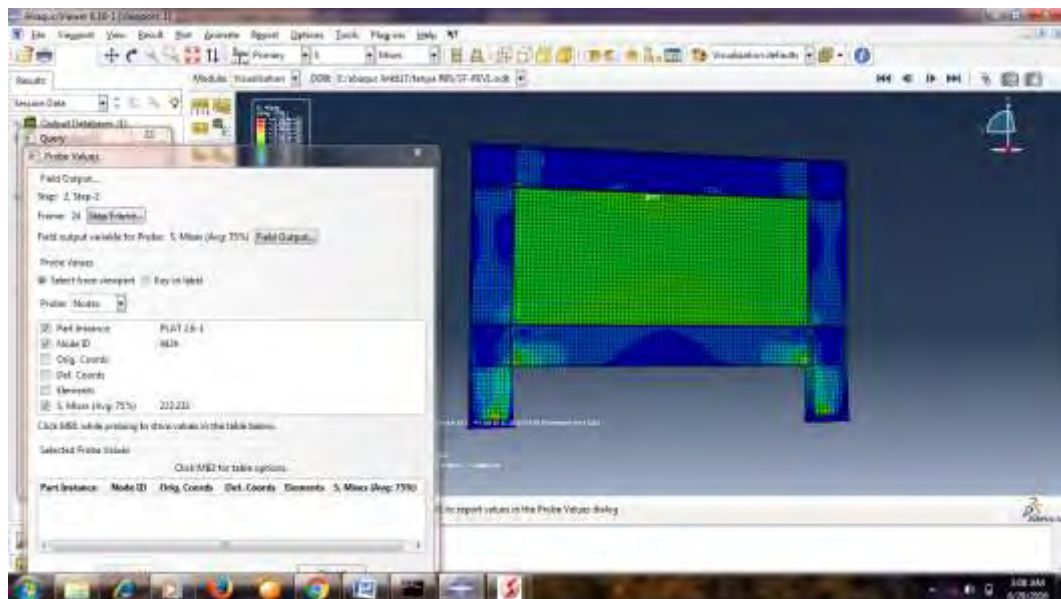


Gambar 5.11 Step 1 kontur tegangan S_{mises}

Pada gambar diatas menunjukkan kontur tegangan pada saat step 1 yaitu pembebanan dengan *displacement* 18 mm. Terlihat bahwa sebagian panel baja sudah mulai leleh khususnya pada lokasi yang berdekatan dengan lokasi titik pemberian beban displacement. Untuk daerah yang lain masih belum mengalami kelelahan. Nilai tegangan geser dan tegangan S mises nya adalah 97.14 Mpa dan 188 Mpa. Semakin kearah VBE semakin mengecil. Untuk kondisi dari VBE dan HBE masih dibawah dari tegangan geser dan lenturnya.

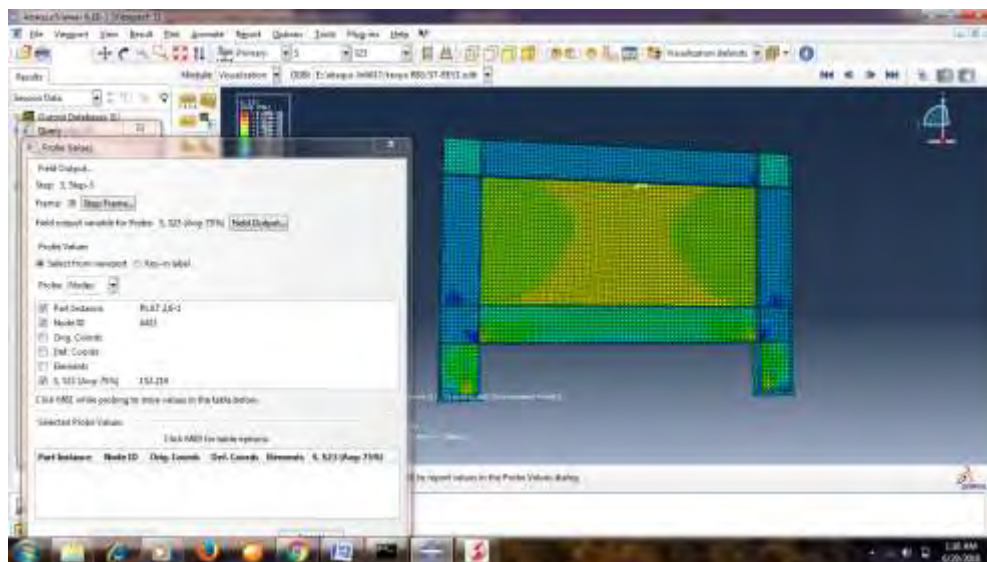


Gambar 5.12 Step 2 kontur tegangan S 23 (geser)

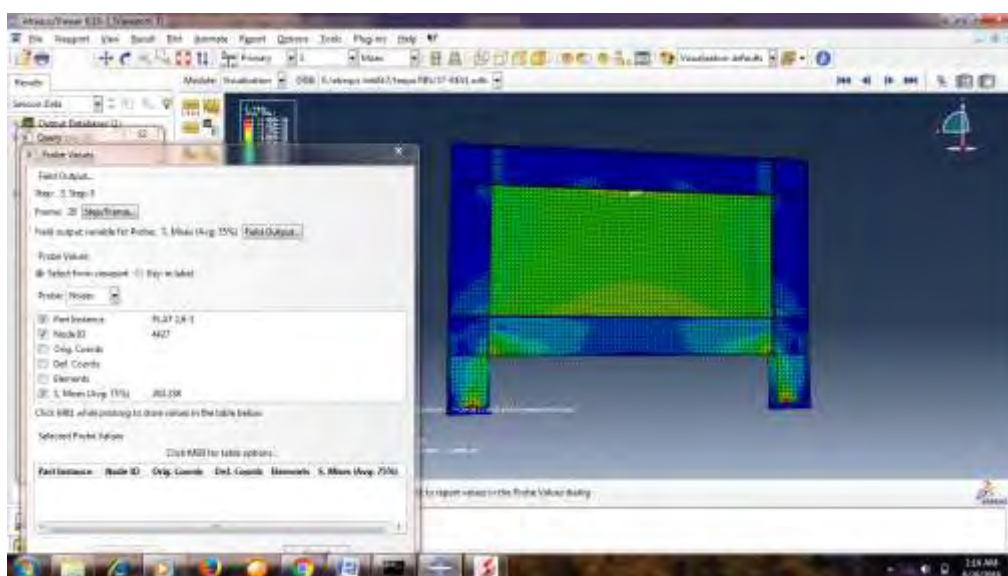


Gambar 5.13 Step 2 kontur tegangan S mises

Pada step 2 dengan displacement sebesar 28 mm, kondisi dari panel baja yang awal nya hanya ada daerah dekat dengan titik pembebanan displacement saja sekarang sudah mulai meluas hampir pada keseluruhan panel baja kecuali pada panel yang dekat dengan HBE yang masih dalam keadaan dibawah tegangan geser dan tegangan lelehnya. Tegangan yang terjadi pada panel baja adalah untuk tegangan S 23 (geser) mulai meningkat menjadi 108.85 Mpa artinya sudah melewati maksimum tegangan gesernya dan berada pada kondisi plastisnya dan S misesnya menjadi 222 Mpa artinya sudah melewati maksimum tegangan gesernya sehingga berada pada kondisi plastisnya.

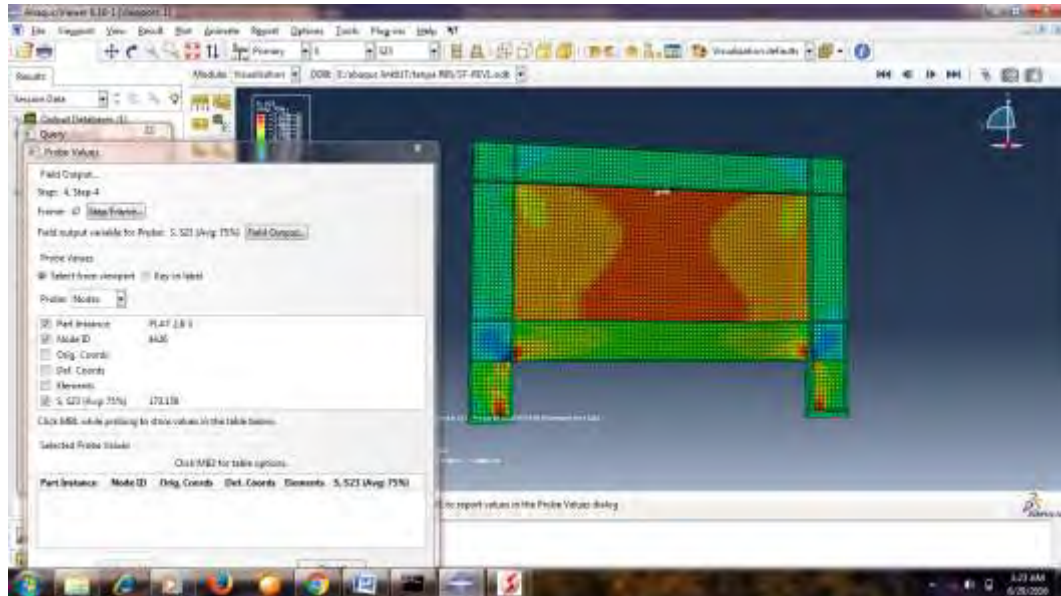


Gambar 5.14 Step 3 kontur tegangan S 23 (geser)

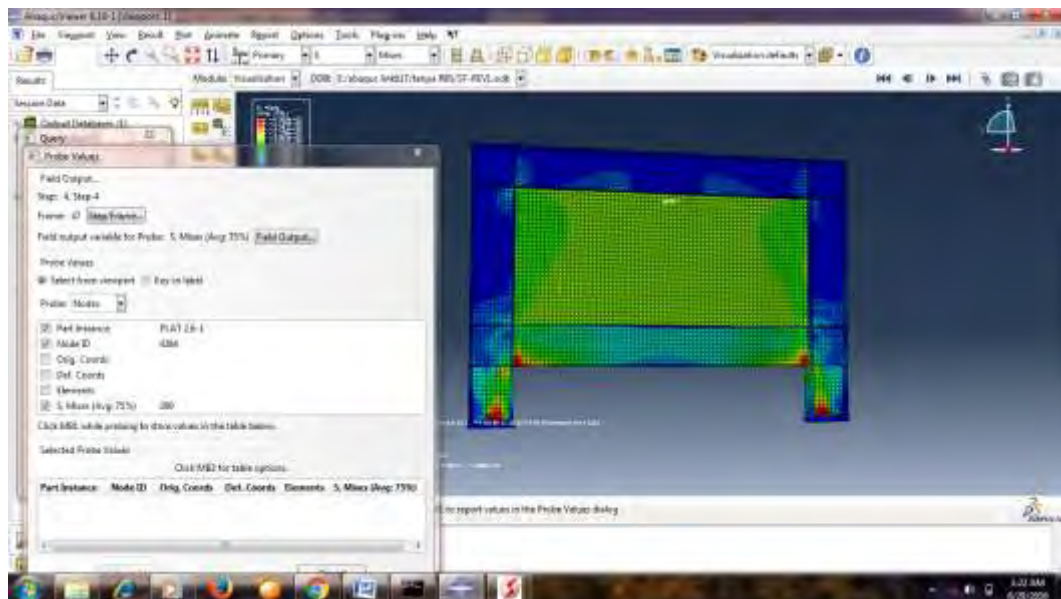


Gambar 5.15 Step 3 kontur tegangan S mises

Pada step 3 dengan displacement sebesar 38 mm, kondisi panel baja seluruhnya sudah leleh dan sudah mencapai kondisi plastis lalu berlanjut mulai terlihat menyerang balok (HBE) yaitu pada bagian kecil balok pada muka kolom. Terlihat adanya peningkatan tegangan panel yaitu 128.82 Mpa (S 23 geser) dan 263 Mpa (S mises). Untuk kondisi sebagian besar HBE, VBE, Panel zone masih dalam kondisi elastis.

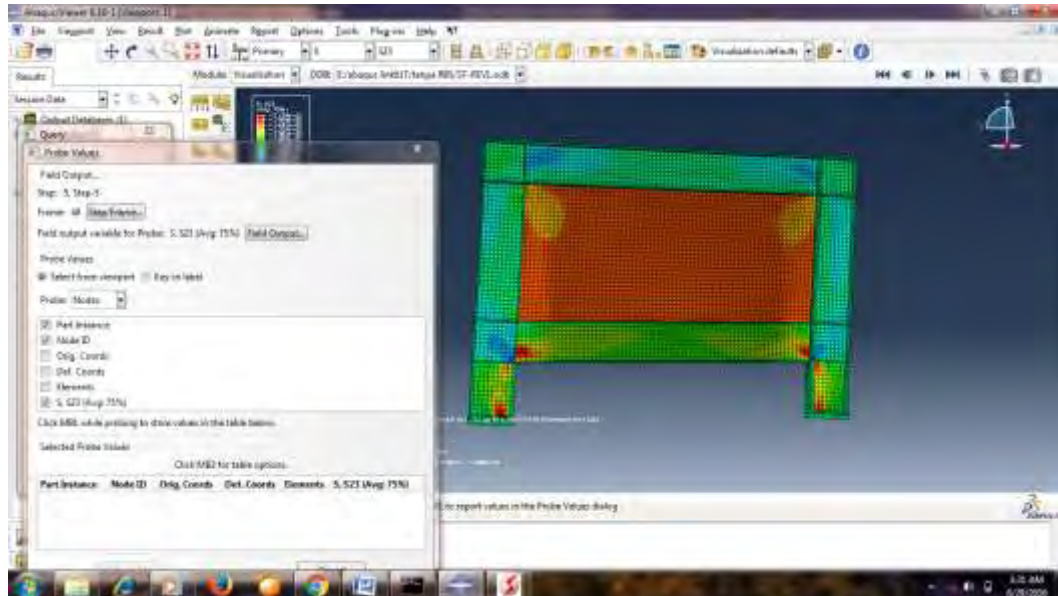


Gambar 5.16 Step 4 kontur tegangan S 23 (geser)

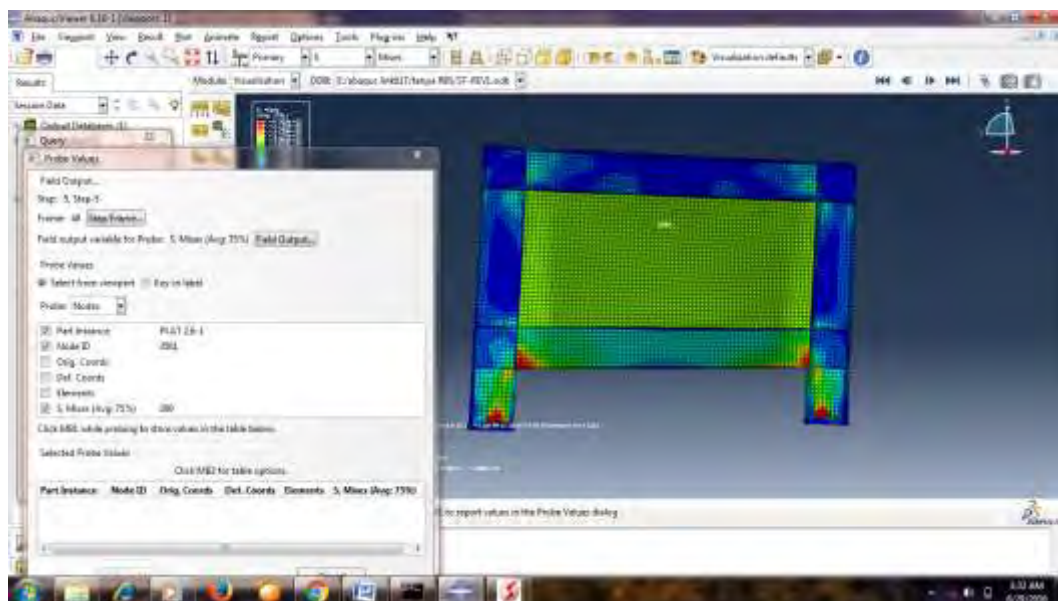


Gambar 5.17 Step 4 kontur tegangan S mises

Pada step 4 dengan displacement sebesar 48 mm. Kondisi panel baja seluruhnya sudah leleh dan sudah mencapai kondisi plastis lalu berlanjut mulai terlihat menyerang balok (HBE) yaitu pada bagian kecil balok pada muka kolom. Terlihat adanya peningkatan tegangan panelnya yaitu 154.87 Mpa (S 23 geser) dan 300 Mpa (S mises). Untuk kondisi sebagian HBE ada pada kondisi ultimate. Kondisi VBE, panel zone masih dalam kondisi elastis.

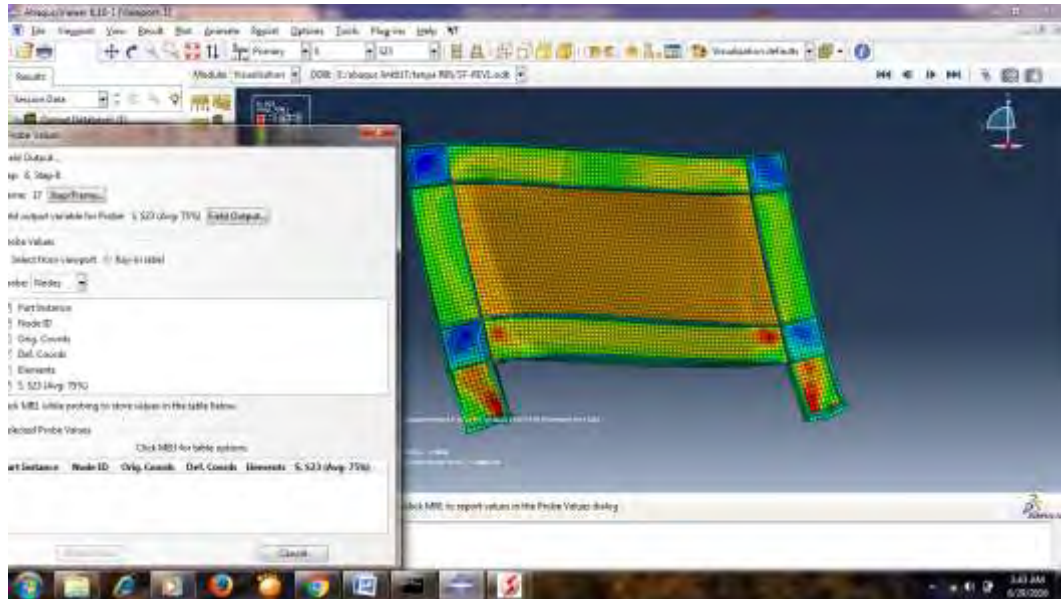


Gambar 5.18 Step 5 kontur tegangan S 23 (geser)

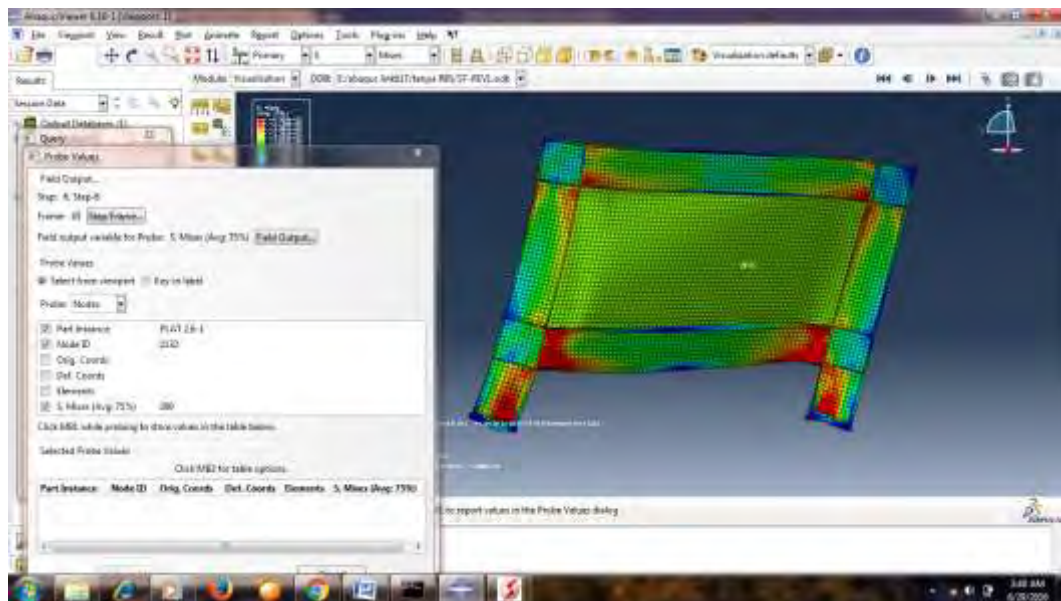


Gambar 5.19 Step 5 kontur tegangan S mises

Pada step 5 dengan displacement sebesar 62 mm. Kondisi panel baja seluruhnya sudah leleh dan sudah mencapai kondisi plastis. Kondisi HBE pada muka kolom dalam kondisi ultimate. Kondisi VBE juga menunjukkan adanya bagian tertentu yang dalam kondisi ultimate yaitu pada posisi joint antara HBE dan VBE. 173.18 Mpa (S 23 geser) dan 300 Mpa (S mises). Kondisi dari panel zone masih dalam kondisi elastis.

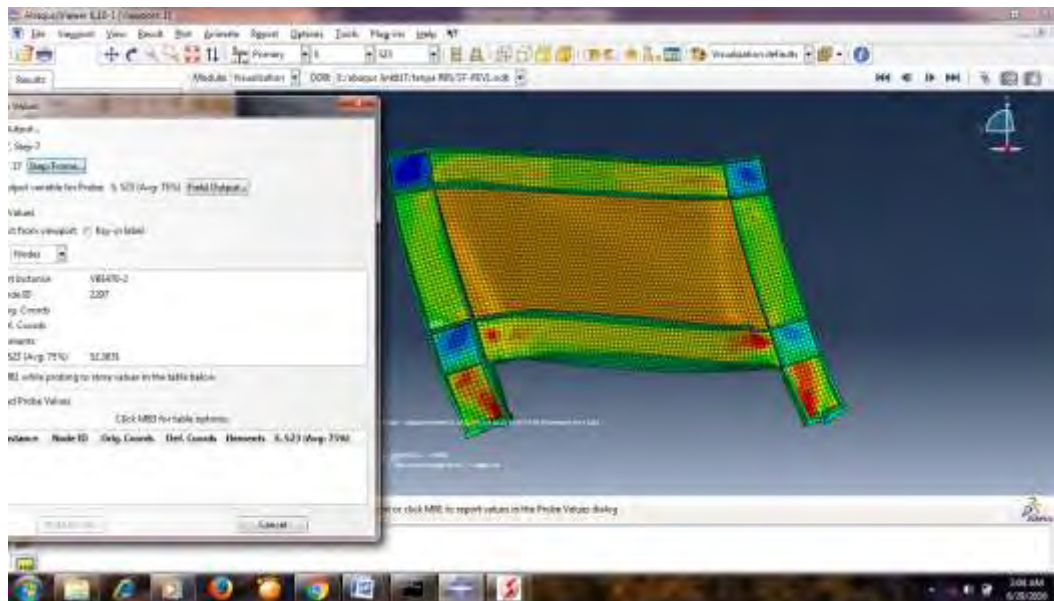


Gambar 5.20 Step 6 kontur tegangan *S 23* (geser)

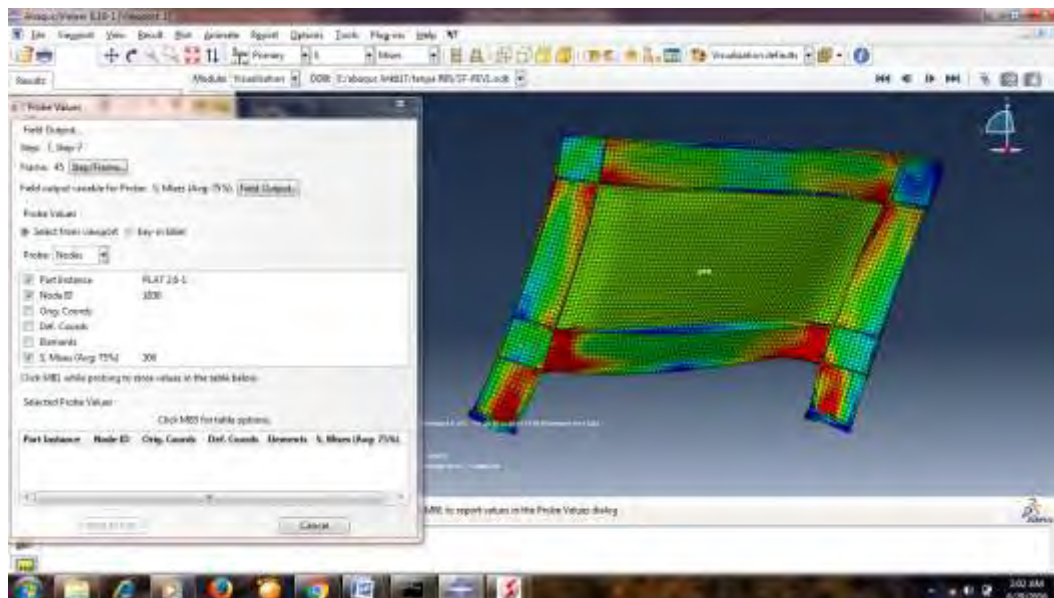


Gambar 5.21 Step 6 kontur tegangan *S mises*

Pada step 6 dengan displacement sebesar 76 mm. Pada step ini kondisi panel baja, HBE, VBE sudah mencapai titik leleh. Terutama pada lokasi joint HBE dan VBE terlebih sudah dalam kondisi ultimate. Tegangan panel yaitu 173.13 Mpa (S 23 geser) dan 300 Mpa (S mises). Kondisi dari panel zone masih dalam kondisi elastis.

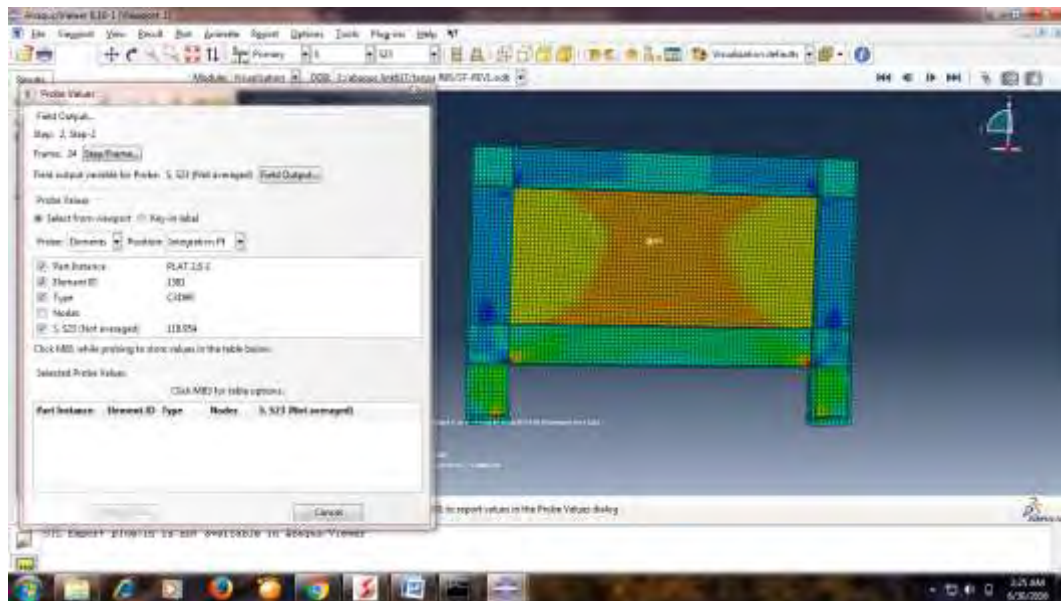


Gambar 5.22 Step 7 kontur tegangan S 23 (geser)

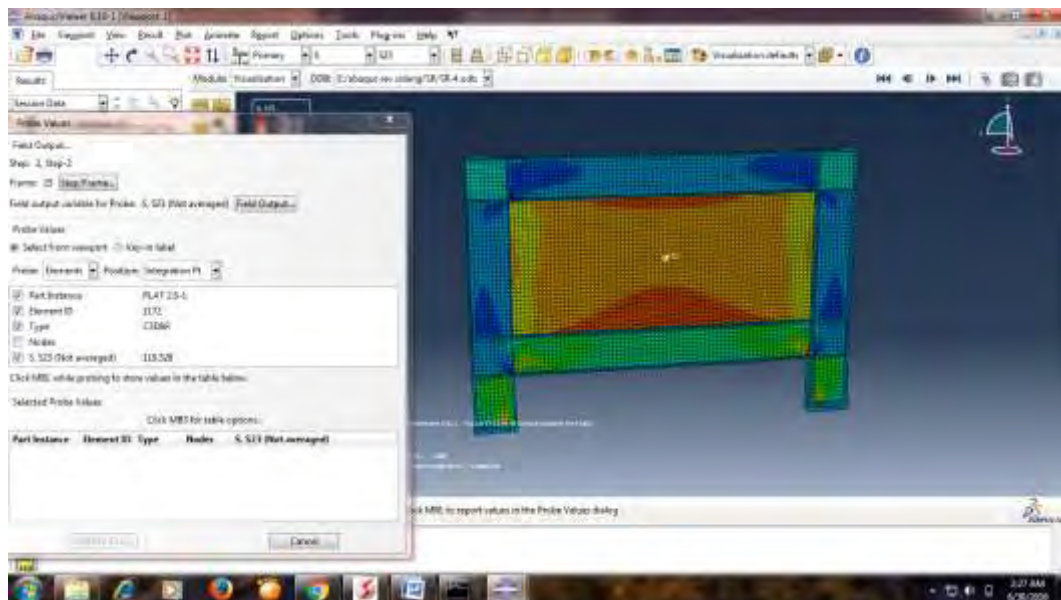


Gambar 5.23 Step 7 kontur tegangan S mises

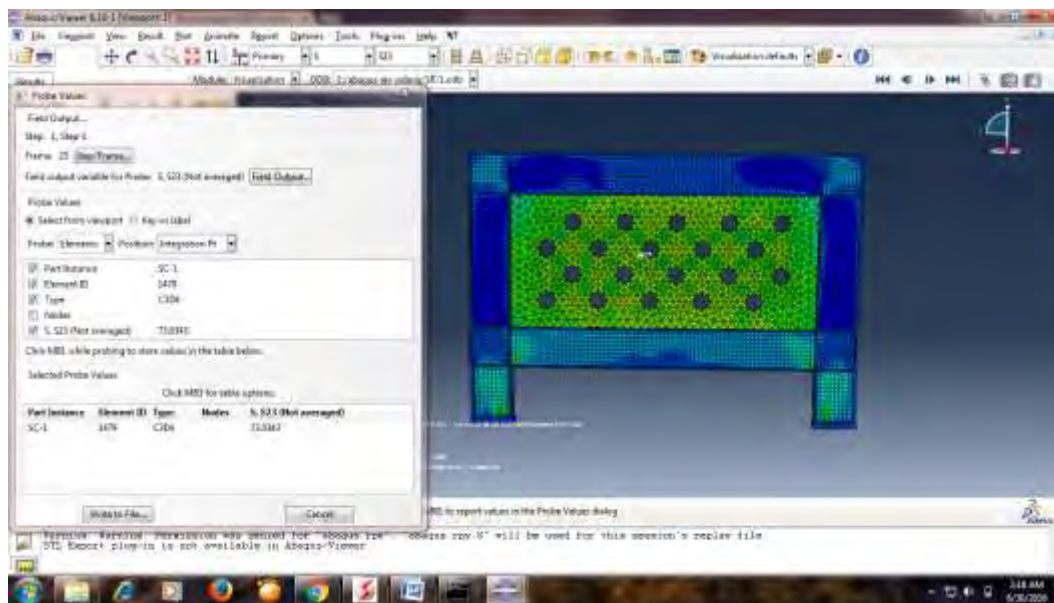
Pada step 7 dengan displacement sebesar 92 mm. Pada step ini kondisi panel baja, HBE, dan VBE sudah mencapai titik leleh. HBE dan VBE terlebih sudah dalam kondisi ultimate. Tegangan panel yaitu 155.53 Mpa (S 23 geser) dan 300 Mpa (S mises). Sebagai perbandingan failure modes ditampilkan ke lima specimen SPSW pada kondisi leleh awal yang dialami oleh panel baja.



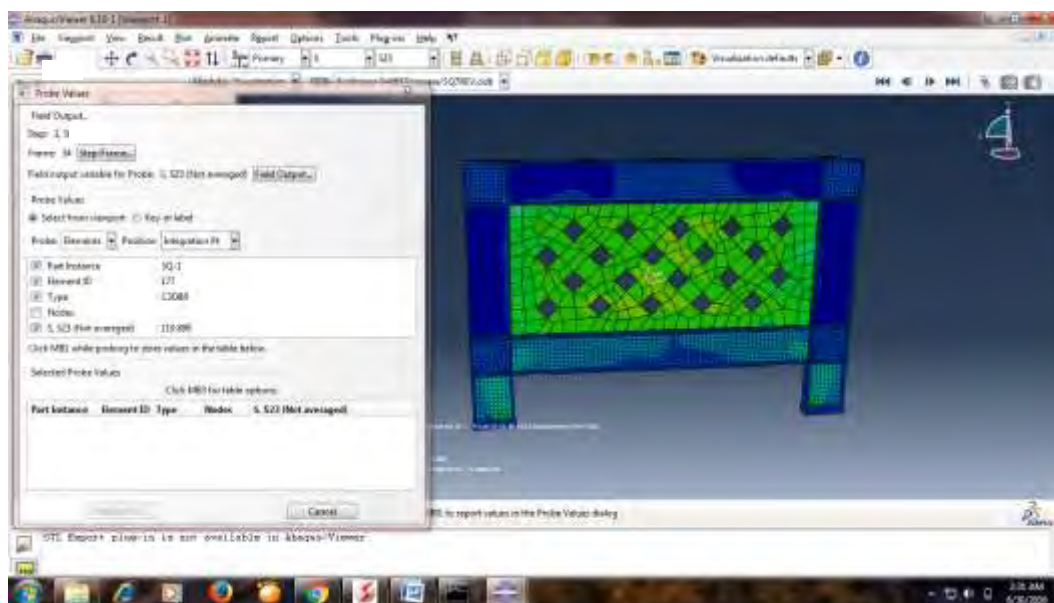
Gambar 5.24 Spesimen ST Step 2 kontur tegangan S 23 (geser)



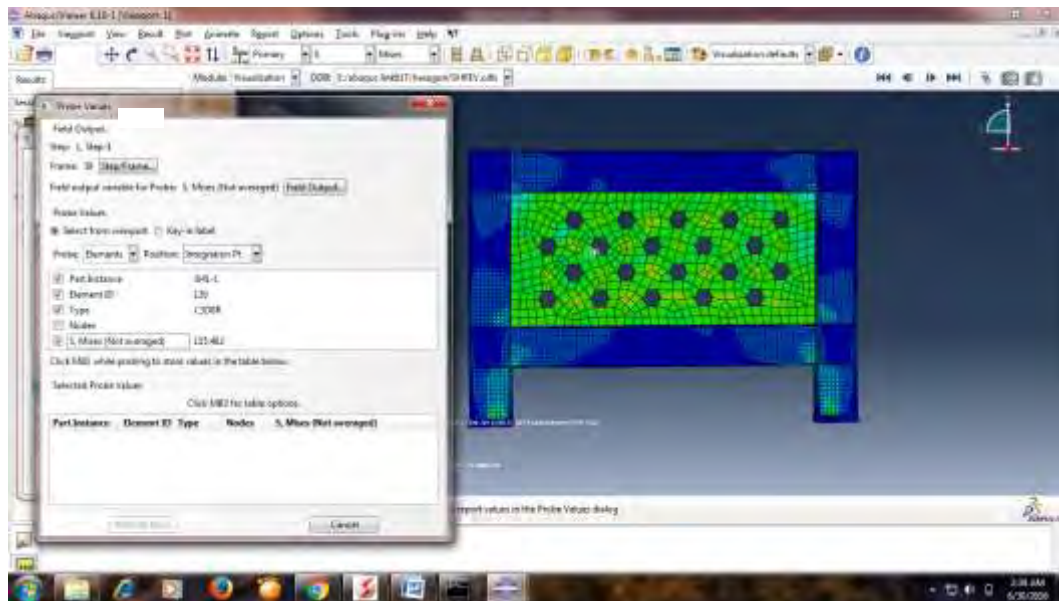
Gambar 5.25 Spesimen SR Step 2 kontur tegangan S 23 (geser)



Gambar 5.26 Spesimen SC Step 1 *kontur tegangan S 23 (geser)*



Gambar 5.27 Spesimen SQ Step 1 *kontur tegangan S 23 (geser)*



Gambar 5.28 Spesimen SH Step 1 kontur tegangan S_{23} (geser)

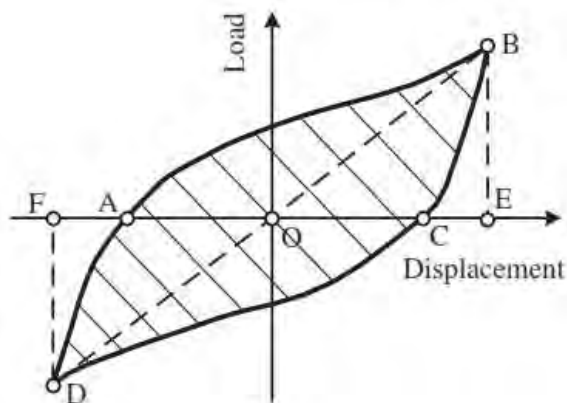
Berdasarkan gambar diatas jelas perbandingannya bahwa untuk SPSW tipe Solid baik specimen SR maupun ST panel baja baru mengalami leleh pada step ke 2 sedangkan untuk SPSW tipe perforasi baik specimen SC, SQ, dan SH panel baja sudah mengalami leleh pada step ke 1. SPSW solid panel bajanya mengalami leleh pada step 2 karena pada tipe ini jauh lebih kaku, sehingga panel baja lebih kuat dikarenakan solid penuh. SPSW tipe yang ada perforasi sudah mengalami leleh pada panel bajanya pada step ke 1 hal ini memang sesuai dengan harapan yang ingin dicapai dari adanya perforasi pada panel baja yaitu untuk mengontrol kekuatan panel baja.

Dari gambar *failure mode* masing-masing specimen mempunyai perilaku berbeda. Specimen ST dan SR cenderung mempunyai kekakuan yang tinggi, hal inilah yang menyebabkan *out of plane deformation* menjadi lebih besar. Untuk specimen SH, SQ dan SC menunjukkan banyak terjadi tekukan/gelombang sehingga tidak mempunyai *main wave*. Dengan tidak mempunyai *main wave*. Hal ini bisa mereduksi *out of plane deformation*, sehingga perilaku *failure modes* nya paling baik.

5.3.4. Perbandingan disipasi energi

Koefisien disipasi energi adalah salah satu indikasi yang menjelaskan tentang kapasitas suatu struktur dalam menahan beban dan mengurangi energi

akibat dari pembebanan. Metode perhitungan koefisien disipasi energi ditampilkan dalam rumus dan gambar dibawah ini :



Gambar 5.30 Gambar perhitungan koefisien disipasi energi

$$E = \frac{S (ABC + CDA)}{S (OBE + ODF)}$$

Dengan :

E = adalah koefisien disipasi energi

S = Luasan dari *hysteretic curve*

S_{ABC} dan S_{CDA} adalah setengah luasan atas dan bawah *hysteretic curve*, S_{OBE} dan S_{ODF} adalah luasan segitiga atas dan bawah *hysteretic curves* seperti pada gambar diatas. Hasil perhitungan perbandingan disipasi energi dari kelima specimen SPSW dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

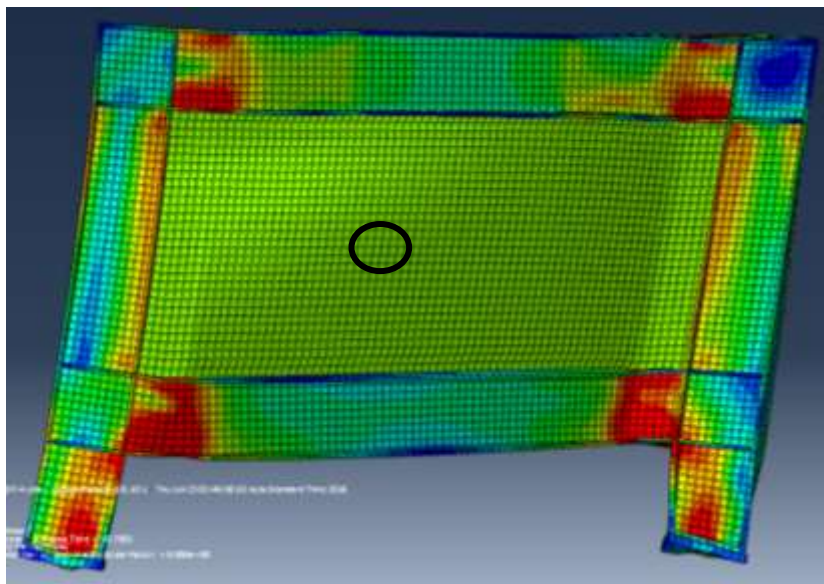
Tabel 5.2 Perbandingan disipasi energi

No	Specimen	Disipasi Energi (E)
1	ST	2,64
2	SR	2,52
3	SC	2,41
4	SQ	2,38
5	SH	2,31

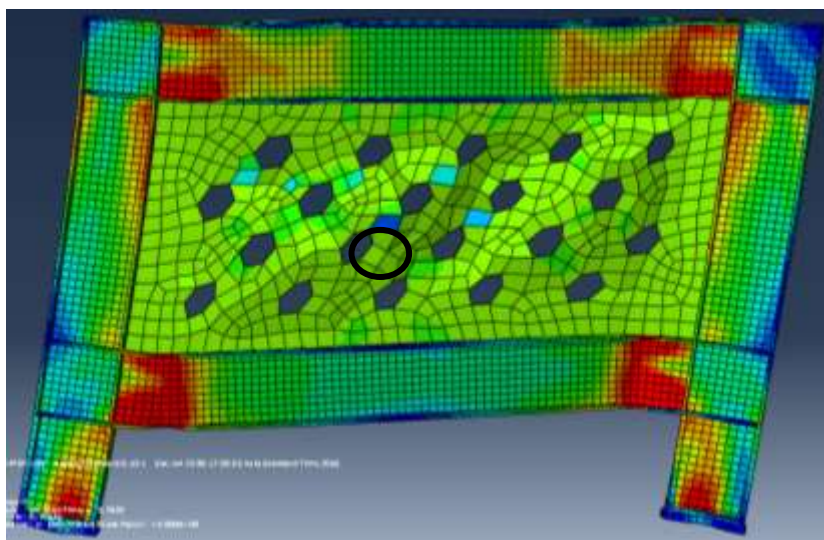
Dari hasil diatas terlihat bahwa SPSW specimen ST mempunyai perilaku disipasi energi yang paling besar. Posisi berikutnya berturut-turut ditempati oleh specimen SR, SC, SQ dan SH. Dapat dilihat bahwa tipe SPSW solid lebih tinggi nilai disipasi energinya dari pada SPSW perforasi.

5.3.5. Perbandingan daktilitas

Pada analisa perilaku daktilitas ini dibuat kurva tegangan regangan yang ditinjau pada element panel baja di setiap specimen SPSW. Dari setiap step pembebanan diambil nilai maksimum untuk tegangan dan regangannya. Tegangan yang diambil adalah tegangan geser S23. Elemen yang ditinjau pada setiap specimen SPSW diausahakan memiliki posisi yang sama, dengan mempertimbangkan pada elemen-elemen yang ditinjau tersebut memiliki perilaku yang sama.



Gambar 5.31 Gambar elemen yang diambil nilai tegangan regangan tipe solid

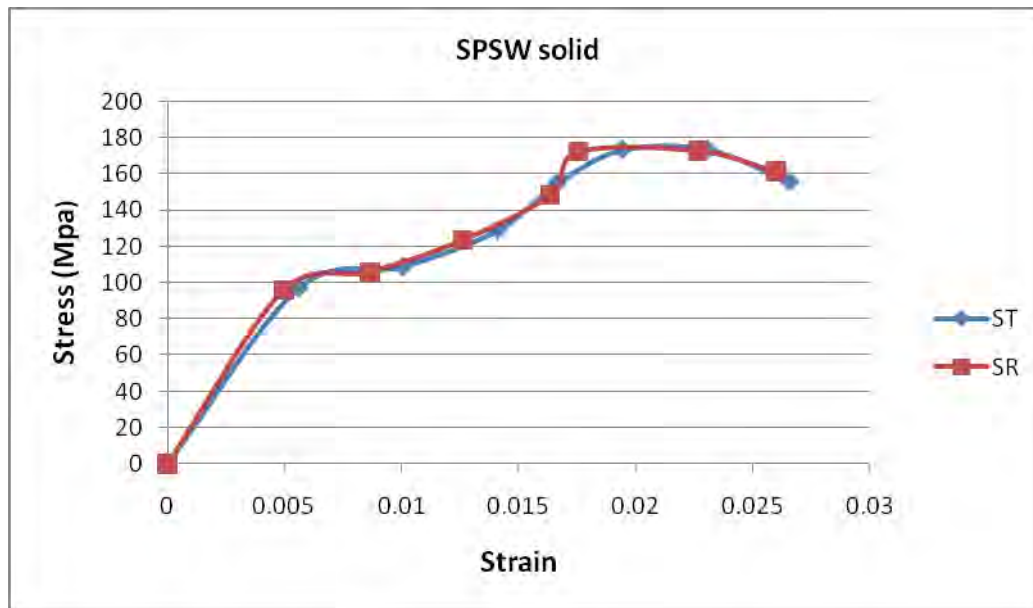


Gambar 5.32 Gambar elemen yang diambil nilai tegangan regangan tipe perforasi

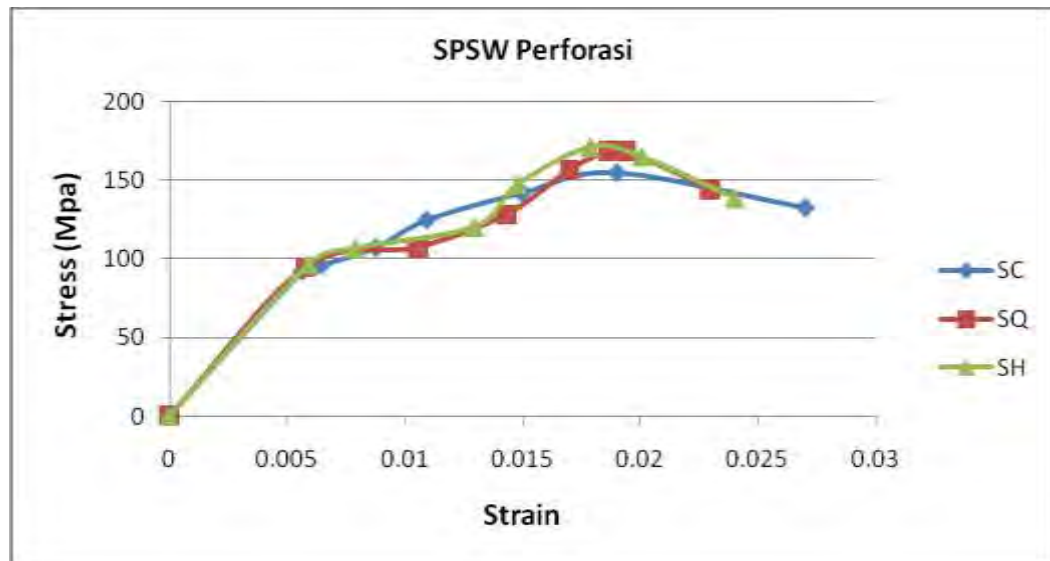
Tabel 5.3 Tabel tegangan regangan setiap spesimen SPSW

No. Step	ST		SR		SC		SQ		SH	
	Tegangan	Regangan	Tegangan	Regangan	Tegangan	Regangan	Tegangan	Regangan	Tegangan	Regangan
Initial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Step-1	97.141	0.0056	95.8607	0.0050	92.1818	0.0057	94.6621	0.0058	96.5189	0.0059
Step-2	108.85	0.0101	105.954	0.0086	95.527	0.0064	107.454	0.0106	106.795	0.0079
Step-3	128.816	0.0141	123.579	0.0126	106.895	0.0088	128.437	0.0143	120.412	0.0129
Step-4	154.872	0.0167	148.474	0.0163	124.384	0.0109	156.99	0.0170	147.316	0.0148
Step-5	173.179	0.0194	172.257	0.0175	141.654	0.0150	168.71	0.0187	171.324	0.0179
Step-6	173.134	0.0231	172.886	0.0226	154.426	0.0190	169.012	0.0194	165.117	0.0201
Step-7	155.535	0.0266	161.251	0.0260	132.282	0.0270	144.154	0.0230	138.824	0.0240

Dari tabel diatas diperoleh bahwa untuk SPSW perforasi SC, SH, dan SQ mengalami leleh terlebih dahulu yaitu pada step 1 sedangkan SPSW solid ST dan SR baru mengalami leleh pada step ke 2. Hal ini disebabkan oleh dengan adanya perforasi sehingga kekakuan dan kekuatan dari panel baja menurun sehingga memungkinkan untuk mengalami leleh pada step 1.



Gambar 5.33 Grafik tegangan regangan untuk SPSW solid



Gambar 5.34 Grafik tegangan regangan untuk SPSW perforasi

Berdasarkan grafik tegangan regangan diatas dilanjutkan dengan mencari nilai dari daktilitas disetiap specimen dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Daktilitas} = \epsilon_u / \epsilon_y$$

Dimana :

ϵ_u = Regangan pada saat ultimate

ϵ_y = Regangan pada saat leleh

Berikut di tampilkan tabel regangan ultimate, regangan leleh, dan nilai daktilitas dari masing-masing specimen SPSW.

Tabel 5.4 Nilai Daktilitas

Specimen	Regangan (ϵ_y)	Regangan (ϵ_u)	Daktilitas
ST	0.0101	0.0194	1.931
SR	0.0086	0.0175	2.029
SC	0.0057	0.0190	3.350
SQ	0.0058	0.0187	3.217
SH	0.0059	0.0179	3.018

Specimen SC mempunyai nilai daktilitas yang paling tinggi dan spesimen ST dan SR mempunyai nilai daktilitas yang paling rendah. Artinya bahwa SPSW dengan tipe perforasi lebih daktil dan mampu mempertahankan bentuknya pada saat dibebani siklik.

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa dan pembahasan diatas dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Perilaku struktur dari SPSW dengan adanya panel baja dapat meningkatkan kekakuan dan kapasitas struktur. Ketika dibebani gaya geser (displacement) panel bajalah yang mengalami leleh terlebih dahulu lalu diikuti HBE pada muka kolom lalu diteruskan dengan leleh pada VBE dan barulah panel zone.
2. Simulasi pembebanan siklik menggunakan 7 step dimana nilai dari displacement maksimum berdasarkan data pembebanan jurnal eksperimen. Pembebanan dilakukan dengan menggunakan kuasi statis beban siklik sesuai terapan direkomendasikan oleh Teknologi Council (ATC) memuat protokol ATC 24 (ATC, 1992) pembebanan menggunakan beban displacement.
3. Hasil verifikasi pemodelan dengan jurnal eksperimen ditinjau dari gaya geser maksimum (V_{max}) SPSW solid dengan RBS (SR) hasil eksperimen adalah 2100 kN dan hasil pemodelan adalah 2076 kN dengan akurasi kurang lebih 1,14 %. Pada SPSW *perforated circle* (SC) hasil eksperimen adalah 1750 kN dan hasil pemodelan adalah 1691 kN dengan akurasi kurang lebih 3,49 %. Pada SPSW solid tanpa RBS (ST) hasil hand calculation adalah 2445,4 kN dan hasil pemodelan adalah 2339 kN dengan akurasi kurang lebih 4,53 %. Hal ini menunjukkan hasil permodelan mendekati hasil jurnal eksperimen dan *hand calculation*.
4. Hasil pemodelan ditinjau dari segi kapasitas V_{max} SPSW tipe solid SR dan ST masing-masing mempunyai nilai V_{max} 2076 kN dan 2339 kN. SPSW tipe perforasi SC, SQ dan SH masing-masing 1691 kN, 1647 kN dan 1497 kN. Sehingga SPSW tipe solid memiliki V_{max} lebih tinggi dibandingkan SPSW perforasi. Dengan nilai disipasi energi tertinggi tipe ST yaitu 2339 kN
5. SPSW *perforated* sudah mengalami leleh pada panel bajanya pada pembebanan step ke 1 dengan tegangan S mises = 186 Mpa, sedangkan SPSW solid mengalami leleh pada panel bajanya ketika pada pembebanan step 2

yaitu $S_{mises} = 195 \text{ Mpa}$. Hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya perforasi maka panel baja bisa dikondisikan leleh lebih awal daripada SPSW solid, akibat dari pembebanan siklik.

6. Hasil pemodelan ditinjau dari segi daktilitas SPSW tipe solid SR dan ST masing-masing mempunyai nilai daktilitas 2,029 dan 1,931. SPSW tipe perforasi SC, SQ dan SH masing-masing 3,35 , 3,217 dan 3,018. Sehingga SPSW tipe perforasi memiliki daktilitas lebih tinggi dibandingkan SPSW solid. Dengan nilai daktilitas tertinggi tipe SC yaitu 3,35.
7. Hasil pemodelan ditinjau dari segi disipasi energi SPSW tipe solid SR dan ST masing-masing mempunyai nilai disipasi energi 2,52 dan 2,64. SPSW tipe perforasi SC, SQ dan SH masing-masing 2,41, 2,38 dan 2,31. Sehingga SPSW tipe solid memiliki disipasi energi lebih tinggi dibandingkan SPSW perforasi. Dengan nilai disipasi energi tertinggi tipe ST yaitu 2,64.
8. Dari kelima specimen SPSW, specimen ST menunjukkan hasil tertinggi dalam hal kapasitas V_{max} yaitu 2339 kN. Specimen ST menunjukkan nilai koefisien *disipasi energi* tertinggi yaitu 2,64. Spesimen SC memiliki nilai daktilitas tertinggi yaitu 3,35.
9. Selisih nilai antara SPSW solid SR dan SPSW *perforated* SC ditinjau dari V_{max} yaitu 2076 kN untuk SR dan 1691 kN untuk SC adalah 385 kN. Selisih koefisien *disipasi energi* yaitu 2,52 untuk SR dan 2,41 untuk SC adalah 0,11. Selisih nilai daktilitas yaitu 2,029 untuk SR dan 3,350 untuk SC adalah 1,321. SPSW solid unggul sedikit dalam hal V_{max} dan disipasi energi sedangkan SPSW *perforated* mempunyai kelebihan dalam hal nilai daktilitas dimana dengan adanya perforasi membuat SPSW lebih daktil dan mampu mempertahankan bentuknya selama dibebani siklik.

6.2 Saran

Sebagai validasi dari pemodelan pada program bantu finite element ini seharusnya dilakukan eksperimen dan pengujian pada laboratorium,

Daftar Pustaka

ATC(1992),”Guidelines for Seismic Behavior and Design of Steel Shear Walls”,Applied Technology Council,Laporan 24.

Berman, J. dan Bruneau, M. (2003), “Plastic Analysis and Design of Steel Plate Shear Walls”, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 129, No. 11.

Berman, J. dan Bruneau, M. (2005), “Experimental Investigation of Light-Gauge Steel Plate Shear”, *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 131, No. 2.

Berman, J. dan Bruneau, M. (2011), “Seismic Behavior of Code designed Steel Plate Shear Walls”, *Engineering Structures*, No. 33, hal. 230-244.

CAN/CSA S16-01, “Limit States Design of Steel Structures”, published by Canadian Standards Association.

Driver, R. dan Kulak, G. (1998), “Cyclic Test of Four-Story Steel Plate Shear Wall”, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 124, No. 2.

Koppal, M. (2012), *Computational Investigation of Tunable Steel Plate Shear Walls for Improved Seismic Resistance*, Tesis Master, Polytechnic Institute and State University, Blacksburg.

Robert, T. dan Ghomi, S. (1992) “Hysteretic Characteristics of Unstiffened Plate Shear Panels”, *Thin-Walled Structures*, Elsevier Science Publishers, Great Britian.

Simulia. (2010) – ABAQUS 6. 10 user manual.

Vian, D. dan Bruneau, M. (2005), “Steel Plate Shear Walls for Seismic Design and Retrofit of Building Structures”, MCEER Report -05-0010.

Wang, M. dan Yang, W. (2015),”Seismic Behaviors of Steel Plate Shear Wall Structures With Costruction Details and Materials”, *Journal of Constructional Steel Research*, No. 107, hal. 194-210.

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Mochamad Ridwan, dilahirkan di Mojokerto, 30 Oktober 1990, merupakan anak Pertama dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK PBS 2 Mojokerto, SDN Balongsari II Mojokerto, SMPN 4 Mojokerto, SMAN 2 Mojokerto. Setelah lulus dari SMAN 2 Mojokerto tahun 2008, tahun 2008 Penulis mengikuti tes masuk program D3 Teknik Sipil yang diselenggarakan oleh FTSP – ITS Surabaya dan diterima pada Jurusan D3 Teknik Sipil dan terdaftar dengan NRP 3108030151. Pada jurusan D3 Teknik Sipil ini penulis mengambil bidang studi bangunan gedung FTSP – ITS dan lulus 2011. tahun 2012 penulis melanjutkan program lanjut jenjang D4 Teknik Sipil FTSP – ITS Surabaya dan terdaftar dengan NRP 3111040607. Pada jurusan D4 Teknik Sipil ini Penulis mengambil Bidang Studi Bangunan Transportasi FTSP – ITS dan lulus tahun 2013. Tahun 2013 penulis mengikuti tes masuk program Pascasarjana Teknik Sipil dan diterima dengan mendapatkan beasiswa calon dosen BPPDN dari DIKTI. Penulis mengambil bidang Teknik Sipil Struktur. Pengalaman kerja penulis pernah bekerja sebagai Supervisor pada PT. Atlantic Anugerah Metalindo (2011), Staf Engineering ahli struktur pada CV. Biru Bumi Hijau (2012-2013). Leader ahli struktur PT. Wijaya Karya Bangunan Gedung (2013-2015). Penulis hingga saat ini masih aktif sebagai praktisi perencanaan struktur di beberapa proyek Swasta. Email- ridwanitssby@gmail.com Cp ; 085258405466